



Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL. ETHEL. Rapport R2

Charles Raux, Jean-Pierre Traisnel, Jean-Pierre Nicolas, Mindjid Maïzia,
Karine Delvert

► To cite this version:

Charles Raux, Jean-Pierre Traisnel, Jean-Pierre Nicolas, Mindjid Maïzia, Karine Delvert. Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL. ETHEL. Rapport R2. 2005. halshs-00101248

HAL Id: halshs-00101248

<https://shs.hal.science/halshs-00101248>

Submitted on 5 Oct 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ETHEL

ENERGIE TRANSPORT HABITAT ENVIRONNEMENT LOCALISATIONS

Rapport R2

Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL

[version 1.1]

Octobre 2005

Partenaires du Projet		
Coordinateur	Laboratoire d'Economie des Transports, UMR 5593	Lyon
Autres Partenaires :	Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR Cité (FRE 2408)	Champs sur Marne
	Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement UMR N° 8568	Nogent-sur-Marne

Ce document devrait être référencé de la manière suivante :

Charles RAUX, Jean-Pierre TRAISNEL, Jean-Pierre NICOLAS, Mindjid MAIZIA, Karine DELVERT (2005) *Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL*. ETHEL. Rapport R2. Action Concertée CNRS – Ministère de la Recherche. LET, Lyon.

La section 1 (Energies et émissions : les ordres de grandeur) a été rédigée par Karine DELVERT sous la direction de Charles RAUX. La section 2 (Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas de l'habitat) a été rédigée par Jean-Pierre TRAISNEL, Mindjid MAIZIA et Karine DELVERT. La section 3 (Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas du transport) a été rédigée par Jean-Pierre NICOLAS. La section 4 (Illustrations BETEL) a été alimentée par les travaux de Jean-Pierre TRAISNEL et Mindjid MAIZIA ainsi que d'un travail de fin d'études de Damien DAVID encadré par Jean-Pierre NICOLAS. Le tout a été coordonné par Charles RAUX.

Contacts

M. Charles RAUX (coordinateur du projet)	
Laboratoire : Laboratoire d'Economie des Transports (LET)	
ISH, 14 avenue Berthelot, 69363 LYON CEDEX 07	
email : charles.raux@let.ish-lyon.cnrs.fr	
Tél : 04 72 72 64 54	Fax : 04 72 72 64 48

M. Jean-Pierre TRAISNEL	
Laboratoire : LTMU, Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR Cité, FRE 2408	
Institut français d'urbanisme, 4 rue Nobel, Cité Descartes, 77420 Champs sur Marne	
email : Jean-Pierre.Traisnel@univ-paris8.fr	
Tél : 01 64 68 91 62 ou 49 59	Fax : 01 64 68 96 87

Sommaire

Introduction	1
1 Energies et émissions : les ordres de grandeur.....	4
1.1 Consommations énergétiques et émissions globales de CO ₂	4
1.2 Consommations énergétiques et émissions de CO ₂ liées aux bâtiments.....	13
1.3 Consommations énergétiques et émissions de CO ₂ liées au transport	34
2 Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas de l'habitat	54
2.1 Situer les enjeux de calcul : les consommations énergétiques.....	54
2.2 Le cas particulier du chauffage.....	69
2.3 Méthodologie de modélisation du parc de logements	76
2.4 Vers la conception d'un modèle dynamique du parc.....	79
3 Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas du transport	81
3.1 Situer les enjeux de calcul.....	82
3.2 Les émissions unitaires retenues pour chaque mode	88
3.3 Le cas particulier de l'automobile	94
3.4 Conclusion.....	102
4 Illustrations BETEL.....	104
4.1 Illustration BETEL : volet transport	104
4.2 Illustration BETEL : volet habitat	115
Conclusion	125
Bibliographie.....	126
Annexes.....	129

Liste des abréviations, acronymes utilisés :

CCFA Comité des Constructeurs Français d'Automobile

CCC Chauffage Central Collectif

CCI Chauffage Central Individuel

CCTN Commission des Comptes Transport de la Nation

CEREN Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie

CPDP Comité Professionnel Du Pétrole

CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

CITEPA Centre Interprofessionnel technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique

CMS Combustibles Minéraux Solides

ECS Eau Chaude Sanitaire

ETC Enquête Transport Communication

ES Electricité Spécifique

IC : immeuble collectif

INESTENE Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe

MI : maison individuelle

TRM Transport Routier de Marchandises

VUL Véhicules Utilitaires Légers

Liste des unités utilisées

Mtep Millions de tep

TWh Tera Watt heure (10^{12} Wh)

Liste des figures

Figure 1 : Projections sectorielles des émissions de CO ₂ dans le cadre du PLNCC : des tendances réévaluées à la hausse	1
Figure 2 : Ventilation des consommations d'énergie en 2004	4
Figure 3 : Consommation d'énergies finale et primaire par type d'énergie.....	7
Figure 4 : Part des secteurs d'activité dans les consommations de produits pétroliers (1980 - 2003).....	9
Figure 5 : Consommation finale de produits pétroliers raffinés par secteur	10
Figure 6 : Répartition sectorielle des émissions de CO ₂ en 2003 (hors secteur « transformation d'énergie »)	11
Figure 7 : Evolution des émissions totales brutes de CO ₂ entre 1970 et 2003.....	12
Figure 8 : Evolution des émissions de CO ₂ par secteur (tous secteurs) entre 1970 et 2003	13
Figure 9 : Répartition des consommations de chauffage des services par branche en 2000....	14
Figure 10 : Contribution des branches aux émissions de CO ₂ du secteur tertiaire en 1997.....	15
Figure 11 Evolution du parc de logements (1973 - 2002) - Données de l'enquête logement ..	16
Figure 12 : Estimation des entrées sorties du parc pour l'année 1994.....	17
Figure 13 : Evolution de la surface moyenne et de l'occupation des résidences principales ..	19
Figure 14 : Evolution de la surface estimée du parc de résidences principales	20
Figure 15 : Répartition par usage de l'énergie consommée par les résidences principales.....	21
Figure 16 : Evolution des consommations unitaires moyennes par usage.....	22
Figure 17 : Part de marché du chauffage de l'habitat en 2000 (%)......	23
Figure 18 : Parts de marché des différentes énergies dans les consommations d'eau chaude sanitaire de l'habitat en 2000	26
Figure 19 : Consommations d'électricité spécifique 1973 - 1999	27
Figure 20 : Emissions liées au chauffage selon les parts de marché énergétiques en 2000.....	28
Figure 21 : Emissions liées à l'eau chaude sanitaire selon les parts de marché en 2000.....	29
Figure 22 : Effectif de résidences principales en fonction de la taille de l'aire urbaine	30
Figure 23 : Consommation cumulée d'énergie de chauffage en fonction de la taille de l'aire urbaine.....	31
Figure 24 : Emissions de CO ₂ dues au chauffage en fonction de la taille de l'aire urbaine....	32
Figure 25 : Effectifs de résidences principales en fonction du type de logement et de l'équipement de chauffage	33
Figure 26 : Emissions de CO ₂ en fonction du type de chauffage et du type de logement.....	33
Figure 27 : Emissions de CO ₂ en fonction du type de logement et de la zone climatique.....	34
Figure 28 : Consommation d'énergie de traction par mode de transport en 2002.....	36
Figure 29 : Evolution des consommations d'énergie de traction par mode (1980 – 2002).....	37

Figure 30 : Consommations énergétiques des transports terrestres de voyageurs par type de trafic (urbain/interurbain).....	38
Figure 31 : Evolution des consommations de produits pétroliers	39
Figure 32 : Emissions du trafic routier en 2003	40
Figure 33 : Evolution des émissions de CO ₂ - secteur des transports (1990-2003).....	41
Figure 34 : Evolution des émissions de CO ₂ dans le transport routier entre 1990 et 2003.....	42
Figure 35 : Achats de carburants par type de véhicule (hors PL et Véhicules utilitaires)	43
Figure 36 : Vieillesse du parc automobile français (1980 – 2003).....	44
Figure 37 : Répartition du parc de véhicules selon la taille des aires urbaines (1996).....	45
Figure 38 : Répartition des trafics par zone et par type de trafic	46
Figure 39 : Répartition des dépenses courantes des ménages en carburant selon le lieu de circulation.....	47
Figure 40 : Kilométrage parcouru par an et par personne selon la classe de revenu	49
Figure 41 : Kilométrage et consommation de carburant moyens par véhicule en 1998	51
Figure 42 : Kilométrage annuel moyen parcouru par véhicule selon la densité de la commune de résidence	52
Figure 43 : Kilométrage et consommation annuels de carburant par véhicule selon la taille de l'agglomération.....	53
Figure 44 : Procédure d'estimation des consommations d'énergie pour les deux postes du confort thermique (chauffage et ECS)	56
Figure 45 : Effectifs des maisons individuelles et immeubles collectifs selon la période de construction	58
Figure 46 : Energies de chauffage central collectif.....	60
Figure 47 : Consommation finale de bois	62
Figure 48 : Consommations d'électricité spécifique	64
Figure 49 : Charges de climatisation en fonction du facteur solaire des vitrages.....	65
Figure 50 : Procédure simplifiée d'estimation des émissions par usage.....	67
Figure 51 : Croisement de Corine Land Cover de l'IFEN et de BD Communes de l'IGN appliqué au département du Rhône	70
Figure 52 : Propension de compacité des bâtiments antérieurs à 1915 en fonction des taux de continuité et de discontinuité des tissus urbains.....	72
Figure 53 : Part des logements contigus selon la période de construction.....	73
Figure 54 : Besoins comparés de chauffage.....	75
Figure 55 : les mouvements dans le parc de logements, procédure simplifiée	77
Figure 56 : Procédure de reconstitution des mouvements dans le parc	77
Figure 57 : Projection tendancielle à 2050 de la surface moyenne d'un logement.....	78
Figure 58 : Procédure d'estimation de la surface d'un logement.....	79

Figure 59 : Dynamique de la construction neuve, pour une unité de population donnée (commune, département, région).	80
Figure 60 : Emissions mobilité globale selon le statut.....	105
Figure 61 : Emissions mobilité globale selon le revenu.....	106
Figure 62 : Emission mobilité globale selon le type d'espace	107
Figure 63 : Emissions mobilité globale selon la taille de l'agglomération	108
Figure 64 : Emissions mobilité locale selon le statut	109
Figure 65 : Emissions mobilité locale selon le revenu.....	110
Figure 66 : Emissions mobilité locale selon le type d'espace.....	111
Figure 67 : Emission en moyenne hebdomadaire pour la mobilité locale croisant plusieurs variables	111
Figure 68 : Emissions mobilité longue distance selon le statut.....	112
Figure 69 : Emissions de la mobilité longue distance selon le revenu.....	113
Figure 70 : Emissions mobilité longue distance selon le type d'espace	114
Figure 71 : Emission en moyenne annuelles pour la mobilité longue distance croisant plusieurs variables	114
Figure 72 : Estimation des besoins de chauffage de la maison individuelle pour trois zones climatiques et pour quatre périodes de construction.	116
Figure 73 : Estimation des consommations de chauffage pour la zone H1, pour quatre types d'équipements de chauffage.....	117
Figure 74 : Evolution des surfaces habitables de la maison individuelle (MI) et du logement en immeuble collectif (IC), en m ² /personne.....	117
Figure 75 : Evolution des prix des maisons anciennes et des appartements anciens en Grande Couronne	118
Figure 76 : Surface moyenne d'une pièce en maison individuelle et en immeuble collectif. 120	
Figure 77 : Surface moyenne par personne selon l'âge	120
Figure 78 : Estimation de la surface du logement selon l'âge et le type de logement (individuel, collectif).....	121
Figure 79 : Surface du logement selon la taille de l'aire urbaine (m ² /personne).	121
Figure 80 : Effectifs de maisons individuelles et de logements collectifs selon les différentes périodes de construction.....	122
Figure 81 : Consommations de maisons individuelles et de logements collectifs selon les différentes périodes de construction.....	123
Figure 82 : Consommations d'énergie en 1999 dédiée au chauffage (MWh/ par habitant) ..	124
Figure 83 : Les trois zones climatiques d'hiver	124

Liste des tableaux

Tableau 1 : Consommation d'énergie primaire, énergie finale par source d'énergie en 2004 ...	6
Tableau 2 : Répartition sectorielle des consommations énergétiques finales en 2004	8
Tableau 3 : Consommations finales de produits pétroliers par secteur en 2003	9
Tableau 4 : Partage sectoriel des émissions de CO ₂ en 2003 (CITEPA)	11
Tableau 5 : Répartition des consommations énergétiques (énergie finale) des résidences principales par usage en 2001	21
Tableau 6 : Consommation des logements neufs en kWh/m ²	24
Tableau 7 : Analyse de la consommation d'énergie de chauffage – effet de la structure du parc sur la croissance annuelle de la consommation d'énergie en %	24
Tableau 8 : Usages autres que le chauffage (Mtep)	25
Tableau 9 : Indicateurs de contenu en CO ₂ de l'électricité consommée en France	28
Tableau 10 : Consommation d'énergie de traction: ventilation des consommations de produits pétroliers en 2002	39
Tableau 11 : Emissions de CO ₂ des transports en 2003	40
Tableau 12 Consommations unitaires des voitures particulières par type de carburant	43
Tableau 13 : Consommations des voitures particulières par classes d'âge et type de carburant en 2001	44
Tableau 14 : Taux de motorisation selon la densité et le type de tissu de la commune de résidence (1998)	48
Tableau 15 : Kilométrage moyen par ménage selon le type de tissu (1998)	48
Tableau 16 : Kilométrage moyen par ménage selon la densité (1998)	49
Tableau 17 : Kilométrage et consommation moyens selon le code zonal de la commune de résidence	50
Tableau 18 : Kilométrage et consommation moyens selon la densité de la commune de résidence	51
Tableau 19 : Taille des résidences principales (nombre de pièces et surface moyenne) en 2002	55
Tableau 20 : Répartition des consommations énergétiques (énergie finale) des résidences principales par usage en 2001 et par unité de surface	55
Tableau 21 : Effet de la taille du ménage sur les consommations d'énergie domestique par personne	56
Tableau 22 : Variables retenues et leurs modalités	58
Tableau 23 : Répartition des effectifs et des consommations d'énergie de chauffage dans le parc de résidences principales en 2002 (en %)	59
Tableau 24 : Part de marché de l'électricité pour le chauffage des logements neufs	61
Tableau 25 : Substitution par du chauffage électrique, en milliers de logements (parc existant)	61
Tableau 26 : Estimation des besoins d'énergie (ECS) par personne et par an	63

Tableau 27 : Estimation des consommations d'énergie (ECS) par personne et par an.....	63
Tableau 28 : Estimation du nombre d'heures annuel de fonctionnement.....	65
Tableau 29 : Consommations de climatisation selon la situation climatique	66
Tableau 30 : Indicateurs de contenu en CO ₂ de l'électricité consommée en France.....	67
Tableau 31 : Emissions de CO ₂ dues au chauffage en 2000 par source d'énergie.....	68
Tableau 32 Facteurs unitaires d'émissions proposés par le RAC	68
Tableau 33 : Emissions de CO ₂ dues à l'eau chaude sanitaire en 2000 par source d'énergie. 68	
Tableau 34 : Valeur des paramètres α et β selon la période de construction et le type de logement.....	71
Tableau 35 : Valeur de ρ (Propension d'un bâtiment à être compact) selon la période de construction	72
Tableau 36 : Performance du bâti	75
Tableau 37 : Données climatiques élémentaires pour le calcul des besoins selon la méthode BV	76
Tableau 38 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements multimodaux de la mobilité quotidienne.....	84
Tableau 39 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements unimodaux de la mobilité quotidienne	85
Tableau 40 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements multimodaux de la mobilité à longue distance	86
Tableau 41 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements unimodaux de la mobilité à longue distance	87
Tableau 42 : Trafic commercial aérien de 1994.....	89
Tableau 43 : Emissions et consommations totales (en tonnes) du trafic aérien de 1994	89
Tableau 44 : Emissions et consommations unitaires (en g/pass.km) du trafic aérien.....	89
Tableau 45 : Emissions totales des trains de voyageurs en 1994.....	91
Tableau 46 : Emissions unitaires (en g/pass.km) du trafic ferroviaire.....	91
Tableau 47 : Coefficients des fonctions d'émission des autocars	92
Tableau 48 : Coefficients des fonctions d'émission des autobus.....	93
Tableau 49 : Coefficients des fonctions d'émission des poids-lourds	93
Tableau 50 : Emissions unitaires moyennes des mobylettes (en g/km).....	94
Tableau 51 : Emissions unitaires moyennes des motocyclettes (en g/km)	94
Tableau 52 Poids des surémissions liées aux démarrages à froid des automobiles	97
Tableau 53 : Répartition des trafics VL sur le réseau routier en 1994.....	99
Tableau 54 : Emissions unitaires moyennes estimées pour les automobiles	101
Tableau 55 : Emissions unitaires moyennes estimées pour les automobiles mal renseignées : cas de la mobilité quotidienne.....	102

Tableau 56 : Typologie de la localisation urbaine des individus pour les mobilités locale et longue distance.....	107
Tableau 57 : Nombre de pièces par personne en 1999, selon l'âge et le type de logement...	119

Introduction

Le Plan Climat 2004 souligne la nécessité d'améliorer les performances des secteurs du transport, de l'habitat et de l'énergie en matière d'émission, leur évolution laissant craindre un dérapage relativement à l'engagement pris par la France dans le cadre du Protocole de Kyoto (engagement à la stabilisation des émissions sur la base des émissions de 1990). Les projections des émissions à l'horizon 2010, telles qu'élaborées en 1999 dans le cadre du Plan National de Lutte contre le Changement Climatique (PNLCC), ont été réévaluées en 2003. Le dérapage de 7,5 MteCO₂ relevé - relativement aux estimations de 1999 -, est imputé au secteur des transports (+12,1 MteCO₂), au résidentiel (+6,4 MteCO₂) et à l'énergie (+4,8 MteCO₂).

Figure 1 : Projections sectorielles des émissions de CO₂ dans le cadre du PLNCC : des tendances réévaluées à la hausse

Emissions en MteCO ₂	1990	2002	Evolution par rapport à 1990	PLNCC 2010 avec mesures existantes	Tendance réévaluée en 2003	Ecart de la tendance 2003 au référentiel PLNCC 2010
Transport	121,5	149,5	28	163	175,1	12,1
Résidentiel-tertiaire	89,5	97,4	7,9	110,2	116,6	6,4
Industrie	141,2	115	-26,2	121,4	118,3	-3,1
Energie	80,6	68,6	-11,9	83	87,8	4,8
Agriculture/foret	116,1	108,6	-7,4	117	108,1	-8,9
Déchets	15,9	14,7	-1,1	16,9	13	-3,9
Total	564,7	553,9	-10,9	611,4	618,9	7,5

Source : Plan Climat 2004, annexe 2, p.82

Les transports et le résidentiel-tertiaire montrent en effet des évolutions préoccupantes, en dépit de la réduction tendancielle des consommations unitaires des véhicules neufs ou du renforcement de la réglementation thermique auxquels les logements neufs sont soumis et de la performance énergétique supérieure des matériaux utilisés. L'accroissement des distances parcourues et des surfaces chauffées contribue parallèlement à la dérive des consommations d'énergie. Dans ce contexte, modes de vies, politiques publiques et innovations technologiques sont parmi les facteurs clés de l'évolution des émissions. Informer et inciter à l'évolution des comportements et la sensibilisation du public, renforcer la réglementation touchant véhicules et bâtiments, favoriser la dynamique des innovations technologiques dans le transport et le bâtiment constituent autant de leviers de l'action publique mis en œuvre par le plan climat.

Contexte et problématique du projet ETHEL

Le projet ETHEL vise à :

- simuler les conséquences –au plan de la consommation d'énergie et d'émission de GES– d'hypothèses sociétales et technologiques sur l'évolution des modes de vie, des

localisations d'activités, des types de logements associés, des offres de transports et des comportements de déplacements associés ;

- en produisant des indicateurs environnementaux, spatiaux, économiques et sociaux ;
- pour situer les enjeux énergétiques, principalement, mais aussi financiers, sociaux et territoriaux de telle ou telle filière technologique (existante ou prospective) ou politique d'aménagement, de réglementation, de tarification, de fiscalité...

En bref, il s'agit de déterminer les marges de manœuvre des pouvoirs publics, les cibles ou les politiques susceptibles d'avoir le meilleur rapport coût-efficacité.

Le champ d'investigation de ce projet est, en matière de transports, limité aux déplacements des personnes mais dans le cadre de leur mobilité annuelle (non limité à la mobilité quotidienne ni à l'urbain) et, en matière d'habitat, principalement consacré à l'exploitation des logements (résidences principales et résidences secondaires). L'horizon est 2020.

Enfin, l'entrée privilégiée est celle des modes de vie, des individus et de leurs ménages, en tant qu'arbitres de leurs choix de logement, de localisations et de transport.

Le projet est organisé selon trois activités, découpées en tâches. Il conduit à rassembler et synthétiser l'état des connaissances actuelles en matière de prospective sur notre thème (activités A et B), à élaborer une méthodologie en matière de scénarios prospectifs, à distinguer les leviers stratégiques dont disposent les pouvoirs publics et à en simuler les effets (activité C).

- L'activité A : Etat de l'art de la prospective et bilans énergétiques
 - Tâche A.1 : état de l'art et synthèse en matière de prospective (rapport R1 -)
 - Tâche A.2 : bilans énergétiques (rapport R2)
- L'activité B : Analyse des comportements transport, habitat, localisations
- L'activité C : Démarche prospective, leviers stratégiques et simulations.

Ce rapport (rapport R2) présente les résultats de la tâche A2.

Il répond à un triple objectif

- Situer à partir des statistiques nationales, les enjeux et ordres de grandeur en matière de consommations énergétiques et d'émissions concernant le transport et l'habitat
- Etablir une méthodologie de calcul des émissions liées au transport et à l'habitat
- Présenter les calculs d'émission effectués sur cette base.

En matière de transport, le calcul des émissions repose sur l'utilisation de la méthodologie MEET appliquée aux déplacements recueillis lors de l'enquête nationale transports et communication (INSEE). Pour ce qui est du logement, on s'appuie sur les Comptes du logement et les bases de données du CEREN (structure de la consommation d'énergie des ménages). La part des innovations, des caractéristiques morphologiques et topologiques (compacité, contiguïté, maillage ou arborescence des réseaux, longueur des cheminements, etc.) dans l'efficacité énergétique globale de l'habitat, dans ses multiples fonctions, est relevée.

Sur la base des données existantes, les bilans actuels de consommation d'énergie et d'émission liées aux déplacements d'une part à l'exploitation du logement (chauffage et autres usages) d'autre part, sont établis. Ces bilans peuvent être comparés selon un certain nombre de critères (variables liées à la localisation, variables socio-économiques). On élabore ainsi un budget énergie transport environnement logement (BETEL).

Ce rapport est structuré en quatre parties. La première partie dresse un bilan rapide des consommations énergétiques et émissions globales liées aux déplacements à l'exploitation du bâti (chauffage et autres usages). Les deuxième et troisième partie présentent la méthodologie BETEL respectivement pour l'habitat et le transport. La quatrième partie illustre ces méthodologies en présentant les premiers résultats.

1 Energies et émissions : les ordres de grandeur

L'objectif de cette première partie est d'établir les ordres de grandeur quant aux consommations énergétiques et aux émissions de CO₂, globalement dans l'économie française (1^{ère} section). Il est ensuite de quantifier ces ordres de grandeur et les principales dynamiques associées aux bâtiments (2^{ème} section) puis aux transports (3^{ème} section).

Les consommations énergétiques et émissions de CO₂ dans l'économie française, dans son ensemble, sont en premier lieu analysées (section 1), puis celles du bâti (section 2) et du transport (section 3) sont successivement décrites.

1.1 Consommations énergétiques et émissions globales de CO₂

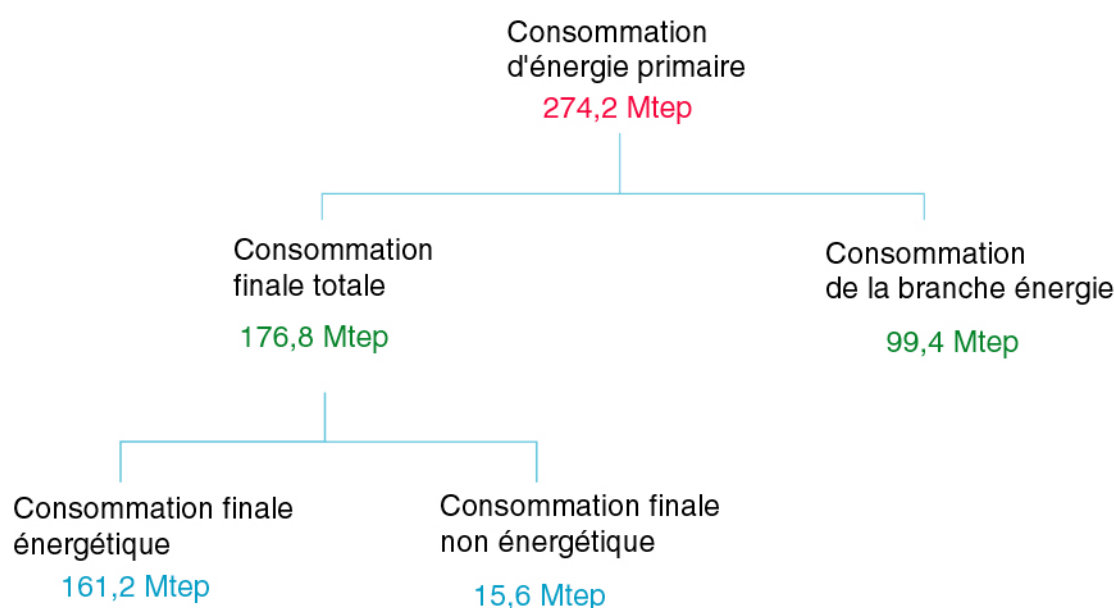
Cette section aborde successivement la consommation d'énergie, celle du pétrole par secteur, puis les émissions de CO₂ par secteur.

1.1.1 Vue globale des consommations énergétiques

1.1.1.1 Consommations d'énergie : définitions liminaires

Deux indicateurs permettent d'appréhender les consommations nationales d'énergie dans leur globalité, la consommation d'énergie primaire et la consommation d'énergie finale. La notion d'énergie primaire correspond à celle d'énergie brute, non transformée après extraction (tels, le gaz naturel, le pétrole brut ou l'électricité primaire). L'électricité secondaire est obtenue par transformation d'une énergie primaire (via des centrales thermiques par exemple). L'énergie finale est celle mise à disposition du consommateur final pour utilisation.

Figure 2 : Ventilation des consommations d'énergie en 2004



Source: d'après DGEMP - Observatoire de l'énergie (2005), p. 6, 11 et 17

Selon les définitions utilisées par l'Observatoire de l'énergie (cf. définitions en annexe), la consommation d'énergie finale comprend les consommations de l'ensemble des secteurs économiques. La consommation énergétique finale exclut les consommations des producteurs d'énergie ainsi que les utilisations de l'énergie comme matière première¹.

La consommation d'énergie primaire² inclut, elle, la consommation finale ainsi que les pertes énergétiques et les consommations de la branche énergie (énergie utilisée par les producteurs et les transformateurs d'énergie)³.

En 2004, elles s'élèvent respectivement à 276 et 161 millions de tep⁴ (DGEMP - Observatoire de l'énergie, 2005).

¹ Au nombre de ces utilisations on compte : « Consommations de goudrons de houille utilisés à des fins non énergétiques. Ces goudrons sont issus de la production fatale à la transformation. Produits pétroliers utilisés dans la pétrochimie comme le GPL, le naphta, le gazole (sauf autoconsommation des vapocraqueurs comptés dans l'industrie) et pour différents usages (bitume pour les routes, lubrifiants pour les moteurs, white-spirit, essences spéciales, paraffines, cires, coke de pétrole calciné,...). Usages du gaz en tant que matière première dans les industries chimiques et para-chimiques ». cf. : <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/methodbilan.htm#6>

² cf. définitions en annexe.

³ Par consommations de la branche énergie, il faut entendre : « (...) le solde de la consommation et de la production d'énergie des industries de l'énergie (production, transformation, transport, distribution, hormis ateliers sidérurgiques) + les pertes. La branche énergie comprend donc les postes suivants : raffinage, production d'électricité thermique, usages internes de la branche, pertes et ajustement. » <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/methodbilan.htm>

⁴ Il s'agit du total des consommations énergétiques. Si l'on tient compte des consommations non énergétiques (fabrication de plastique ou d'engrais), les consommations finales s'élèvent à 176,8 millions de tep (observatoire de l'énergie, 2005, p.15).

Tableau 1 : Consommation d'énergie primaire, énergie finale par source d'énergie en 2004

A - Energie primaire (corrigée du climat*)**

	Millions de TEP	%
Charbon	13,1	4,7
Pétrole	92,8	33,6
Gaz naturel	40,3	14,6
Electricité primaire*	117,3	42,5
Energies renouvelables thermiques**	12,7	4,6
Total	276,2	100,0

* Nucléaire + éolienne + hydraulique + photovoltaïque

** Bois, déchets ... Hors hydraulique, éolienne et photovoltaïque

B - Energie finale (corrigée du climat*)**

	Millions de TEP	%
Charbon	6,3	3,9
Pétrole	73,2	45,4
Gaz naturel	35,2	21,8
Electricité ****	36,1	22,4
Energies renouvelables thermiques **	10,4	6,5
Total	161,2	100,0

*** La part des consommations sensibles aux variations climatiques est corrigée.

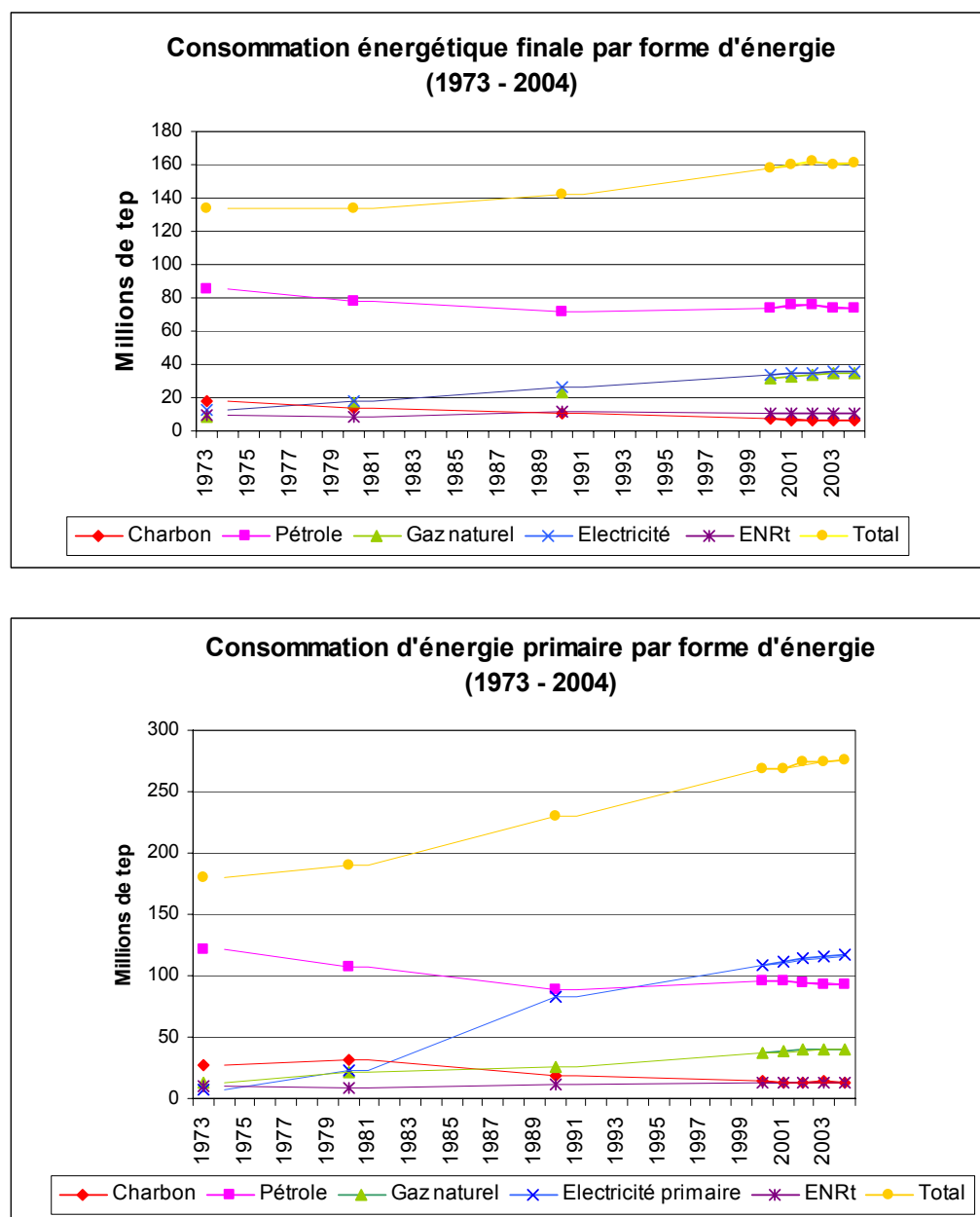
**** « pour fournir 1 KW.h électrique au consommateur final c'est environ 2,5 kW.h de chaleur qu'il faut avoir dans un centrale au gaz, compte tenu du rendement qui n'est que de 50%environ » (www.manicore.com). Le rendement d'une centrale nucléaire serait encore inférieur.

Source : DGEMP - Observatoire de l'énergie (2005), p.11 et 17

Le pétrole représente près de la moitié des consommations énergétiques finales (cf. Tableau 1), et 34% des consommations d'énergie primaire (soit 93 millions de tep). La part des usages pour lesquels le pétrole n'admet pas de substitut (utilisation comme carburant notamment) représente 72% de sa consommation finale (DGEMP - Observatoire de l'énergie, 2005, p.13).

Cependant, si l'on considère l'évolution des consommations d'énergie sur les 30 dernières années (1973 – 2004), la part du pétrole décroît (-14%), dans un contexte de croissance des consommations énergétiques finales (+20%). Cet écart est plus marqué encore, si l'on considère la consommation d'énergie primaire (la part du pétrole décroît de 23%, la consommation d'énergie primaire, croît, elle, de 53% sur la même période).

Figure 3 : Consommation d'énergies finale et primaire par type d'énergie



Source : DGEMP - Observatoire de l'énergie (2005), p.11 et 17

1.1.1.2 Parts et évolutions sectorielles

Les transports et le résidentiel-tertiaire sont les deux premiers consommateurs d'énergie (finale). Ils représentent respectivement 31,5 et 43% des consommations énergétiques finales en 2004 (cf. Tableau 2). Les parts respectives du tertiaire et du résidentiel peuvent être estimées à environ 2/3 pour le résidentiel et 1/3 pour le tertiaire. Ils sont suivis par l'industrie (qui totalise 20% des consommations).

Tableau 2 : Répartition sectorielle des consommations énergétiques finales en 2004

	Millions de tep	%
Sidérurgie	5,8	3,6
Industrie (hors sidérurgie)	31,9	19,8
Résidentiel - tertiaire	69,8	43,3
Agriculture	2,9	1,8
Transports (hors routes maritimes internationales)	50,8	31,5
	161,2	100,0

Source : DGEMP - Observatoire de l'Energie 2005, p.16

Entre 1973 et 2004, la consommation énergétique tous secteurs (consommation finale énergétique, excluant la branche énergie¹ ainsi que les usages non énergétiques) passe de 133 millions de TEP à 161 millions, soit une croissance de près de 20% (et un taux de croissance annuel moyen de l'ordre de 0,6%).

La consommation énergétique finale des transports entre 1973 et 2004 a quasiment doublé, ce qui traduit une progression annuelle moyenne supérieure à 2%. Parallèlement, la consommation du résidentiel tertiaire a cru de 24% (soit une croissance annuelle moyenne comparable à celle de l'ensemble des secteurs). L'industrie décroît progressivement (moins 9% en 30 ans). Si l'on considère l'industrie et la sidérurgie cumulées, la décroissance des consommations énergétiques atteint 21%, passant de 48 à 38 millions de Tep.

1.1.2 Consommations pétrolières : ventilation sectorielle

Les transports et le résidentiel tertiaire représentent l'essentiel des consommations finales de produits pétroliers à des fins énergétiques, avec respectivement 49,9 (soit 67%) et 15,5 (soit 21%) millions de Tep en 2003.

¹ La branche énergie connaît un quasi triplement de ses consommations d'énergie

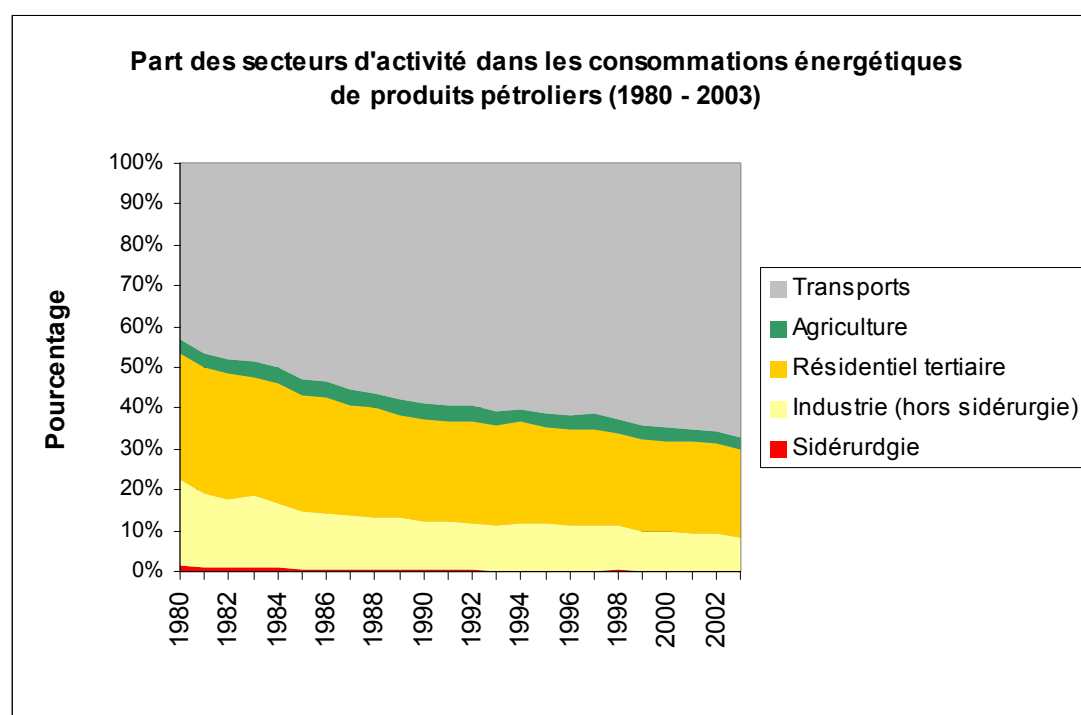
Tableau 3 : Consommations finales de produits pétroliers par secteur en 2003

	Millions de tep	%
Sidérurgie	0,1	0,1
Industrie	6,1	8,4
Résidentiel - tertiaire	15,5	21,2
Agriculture	2,3	3,2
Transports*	49	67,1
	73	100

Source : DGEMP - Observatoire de l'énergie, 2004, p.13 (*hors routes maritimes internationales) et INSEE (2003) - CCTN, p.185

Les transports représentent une part sectorielle croissante de la consommation de produits pétroliers depuis 1980 (Figure 4), passant de 43% en 1980 à près de 67% en 2003 (CCTN 2003, p.185).

Figure 4 : Part des secteurs d'activité dans les consommations de produits pétroliers (1980 - 2003)

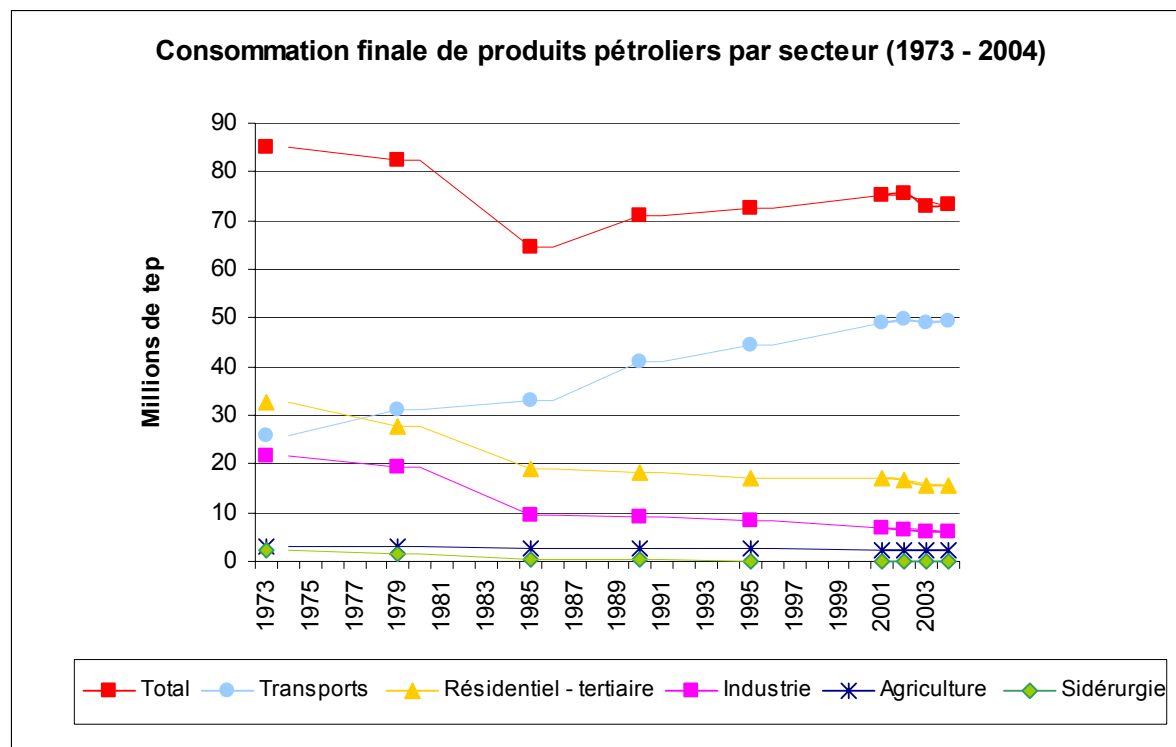


Source: DGEMP - Observatoire de l'énergie, repris dans les rapports de la commission des comptes transports de la nation, Rapport INSEE - CCTN 1989, p.140 / 1992, p.157 / 1997 p.138 / 2002 p. 184

Entre 1973 et 1985, dans un contexte de réduction (de 24%) de la consommation finale de produits pétroliers, un basculement s'opère. Alors que le résidentiel-tertiaire est le premier consommateur sectoriel en 1973, sa consommation est divisée par presque deux sur la période (en raison de la part croissante de l'électricité notamment). Parallèlement, les consommations

du transport (soutes exclues) doublent pratiquement (49 en 2003 contre 25,7 millions de tep en 1973, soit un taux de croissance annuel moyen de 2,1%).

Figure 5 : Consommation finale de produits pétroliers raffinés par secteur



Source : DGEMP - Observatoire de l'énergie (2004b), p.13 (consommations corrigées du climat, soutes exclues pour les transports)

1.1.3 Emissions de CO₂ par secteur

Les émissions estimées par le CITEPA pour l'année 2003 placent le transport et le résidentiel -tertiaire (cumulés) aux deux premiers rangs des secteurs émetteurs de CO₂ suivis de près par l'industrie manufacturière. Ils représentent respectivement 136 et 110 millions de tonnes de CO₂, soit 32 et 26% des émissions² (si l'on exclut le secteur de transformation de l'énergie, pour lequel la consommation d'énergie n'est pas finale³).

² Ces pourcentages rapportés aux émissions totales brutes hors secteur « transformation d'énergie ».

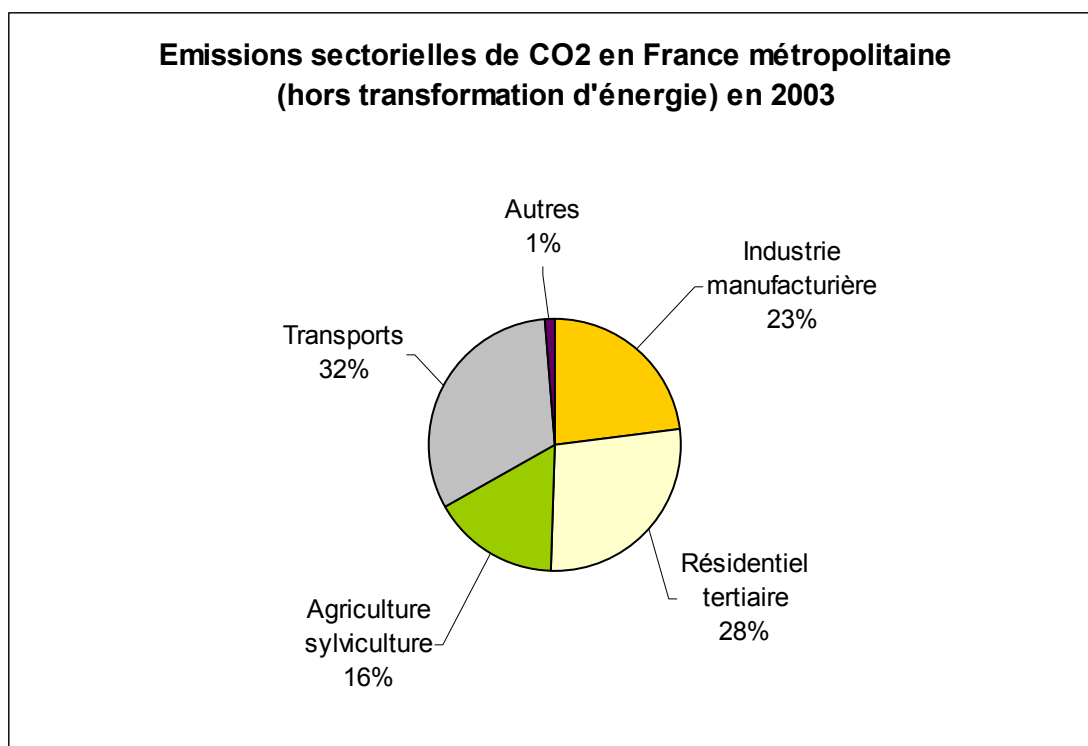
³ Les émissions de ce secteur font référence aux émissions liées à la production d'électricité, au raffinage du pétrole, à la transformation du charbon (CITEPA, p.116).

Tableau 4 : Partage sectoriel des émissions de CO₂ en 2003 (CITEPA)

Millions de tonnes	2003
Transformation d'énergie	68
Industrie manufacturière	99
Résidentiel tertiaire	119
Agriculture sylviculture	71
Transports	137
Autres	6
Total Emissions brutes	501
Puits	-155
Total émissions nettes	346

Source : CITEPA (2005), page 33

Figure 6 : Répartition sectorielle des émissions de CO₂ en 2003 (hors secteur « transformation d'énergie »)



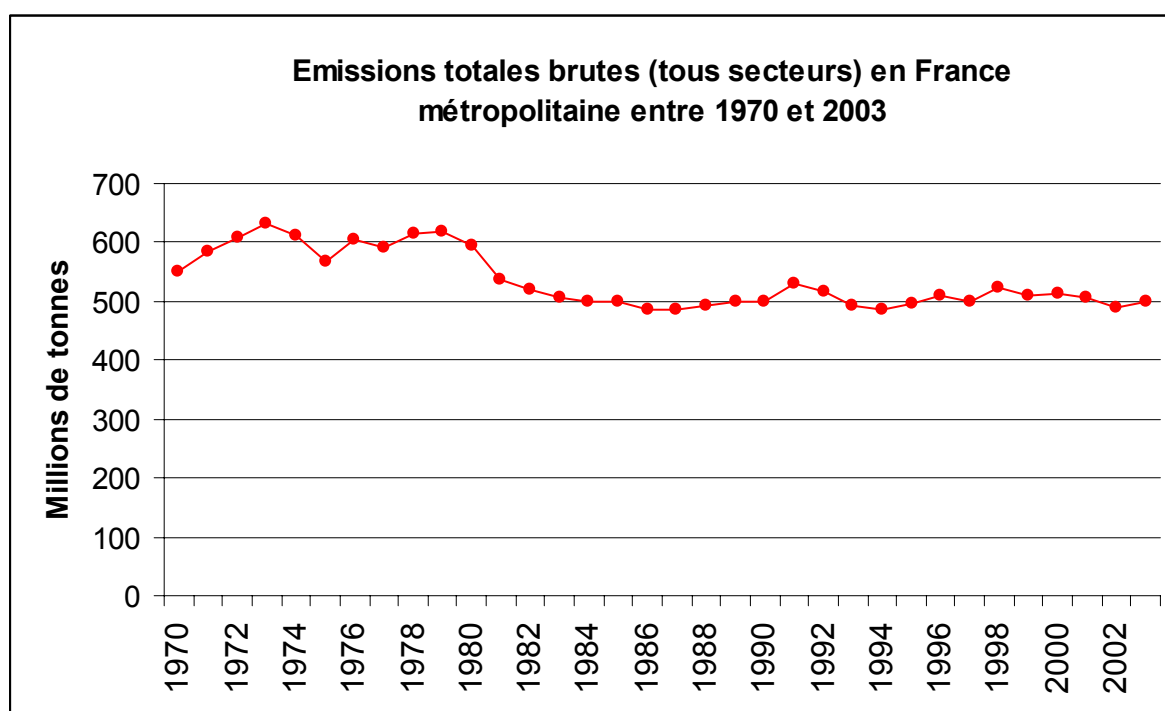
Source : CITEPA (2005), p.33

L'évolution des émissions de CO₂ entre 1970 et 2003 (Figure 7) révèle une baisse des émissions de près de 11% sur la période (soit un taux de croissance annuel moyen de -0.3%).

Plusieurs phases peuvent être distinguées : tout d'abord une phase de forte croissance jusqu'au premier choc pétrolier (entre 1960 et 1973, les émissions croissent de 41% soit un taux de croissance annuel moyen de 2,7%). Suivent, une période de stabilisation jusqu'au second choc pétrolier (entre 1974 et 1979 la baisse des émissions est inférieure à 2%), puis

une phase de décroissance (baisse due, en partie, au lancement des programmes nucléaires). Depuis le milieu des années 80, les émissions oscillent autour de la valeur pivot de 500Mt.

Figure 7 : Evolution des émissions totales brutes de CO₂ entre 1970 et 2003

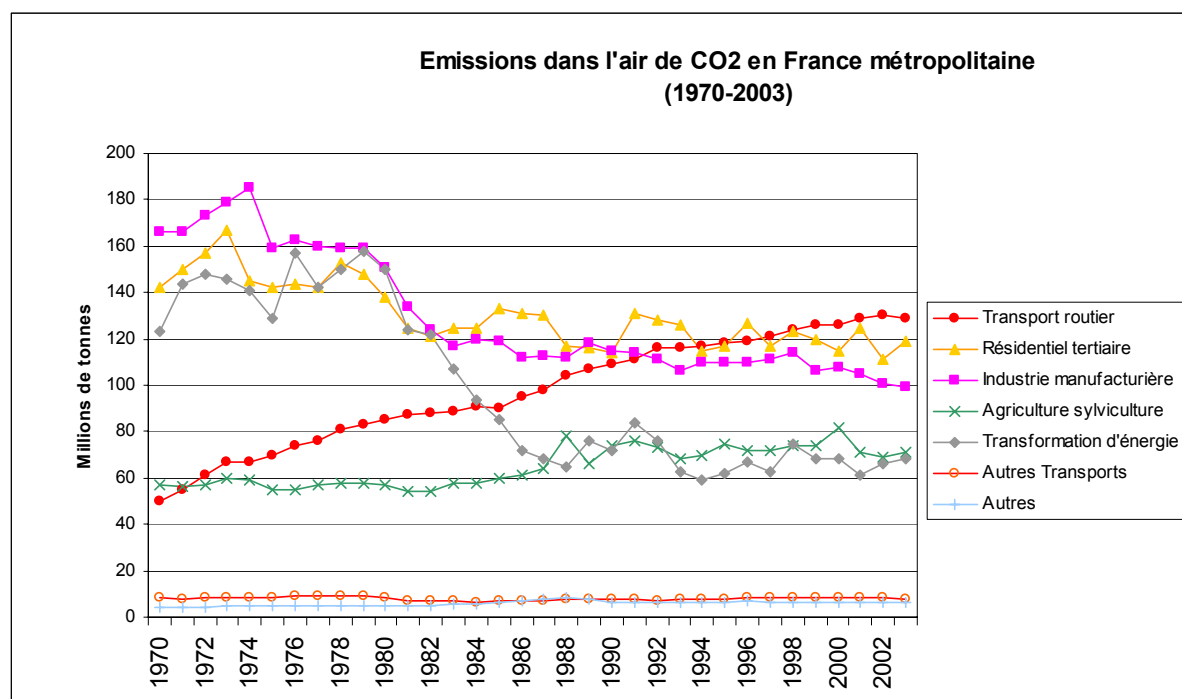


Source : CITEPA (2005), p.33

Cette tendance globale combine des évolutions sectorielles contrastées (Figure 8). La hiérarchie sectorielle en termes d'émissions se trouve profondément modifiée sur la période 1970 – 2003. Ainsi, le secteur des transports passe-t-il de la cinquième à la première place.

Cette évolution est marquée par la décroissance, de concert, des émissions issues de l'industrie manufacturière (-37%) et surtout de la transformation d'énergie (-47%) mais également, du résidentiel-tertiaire (-22,5%). Cependant, elle est également caractérisée par la progression des émissions liées au transport routier (+150% sur la période, soit un taux de croissance annuel moyen de près de 3%).

Figure 8 : Evolution des émissions de CO₂ par secteur (tous secteurs) entre 1970 et 2003



Source : CITEPA (2005), mise à jour février 2005, p.33

1.2 Consommations énergétiques et émissions de CO₂ liées aux bâtiments

Les consommations énergétiques liées aux bâtiments (tertiaire et résidentiel) sont le plus souvent agrégées dans les statistiques nationales. Leurs parts respectives sont de l'ordre d'un tiers pour le tertiaire et deux tiers pour le résidentiel soit, pour l'année 2001 : 22,1 Mtep pour le tertiaire contre 48 Mtep pour le résidentiel⁴. A partir de travaux réalisés par le SES (Girault, 2001, Turki *et al.* 2002), par le LTMU (Traisnel, 2001, Traisnel et Maïzia 2004) une caractérisation globale des consommations énergétiques des bâtiments peut être esquissée⁵.

1.2.1 Grandes masses

1.2.1.1 La part du tertiaire

En 2000, le tertiaire, avec un niveau de consommation de 22,28 Mtep, représente 14% de la consommation énergétique finale, et le tiers des consommations des bâtiments. Les usages du

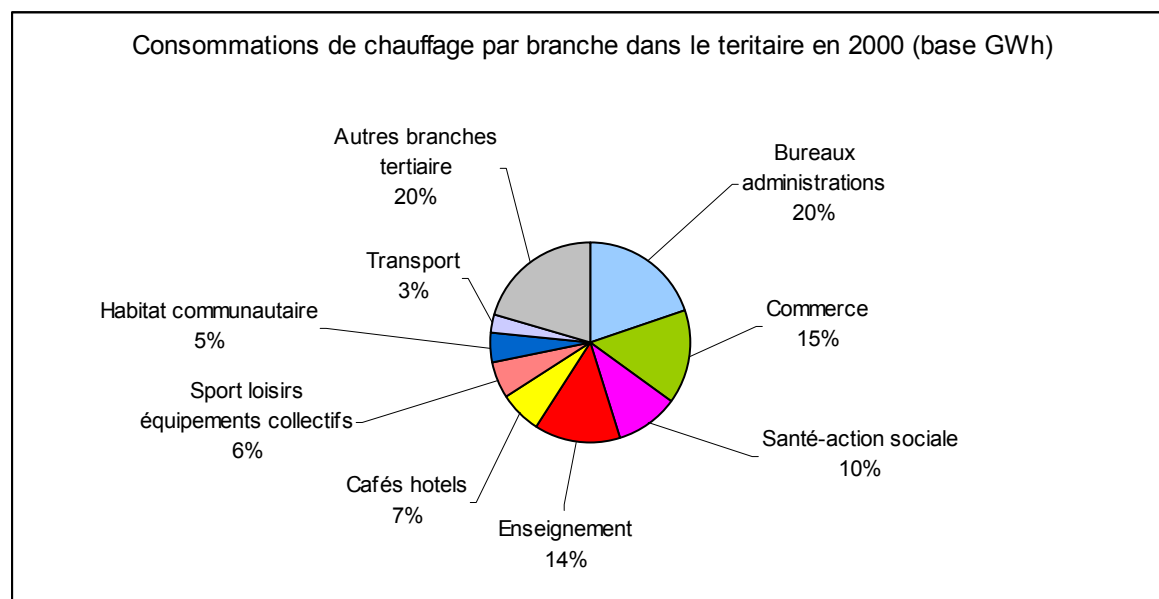
⁴ D'après DGEMP - Observatoire de l'Energie (2004b), p.177.

⁵ Les travaux utilisés font référence à des données différentes (sources enquête CEREN, données globales Observatoire de l'Energie, Producteurs d'énergie) qui peuvent conduire à des différences d'estimation. Aussi, précisons-nous systématiquement la source des données utilisées.

tertiaire⁶ sont pour 21% l'électricité spécifique (ES)⁷ et pour 63% le chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS)⁸.

Entre 1986 et 2000 les consommations énergétiques du tertiaire (Turki et al., 2002) sont passées de 160 à 209 TWh, soit une croissance comparable à la croissance du parc (de l'ordre de 30%). En 2000, le chauffage représente 63% de ces consommations, consommations (Figure 9) dont la part la plus significative revient aux bureaux, administrations et commerces (autres branches mises à part).

Figure 9 : Répartition des consommations de chauffage des services par branche en 2000



Source: Turki et al. (2002)

Sur cette même période, ce sont les usages « électricité spécifique » qui croissent le plus vite (+76% contre +16% pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire). Cette croissance de l'électricité spécifique peut être expliquée par l'informatisation, le développement de la climatisation des surfaces commerciales et de bureau. Elle est atténuée à la fin des années 90 par l'utilisation de matériels moins consommateurs d'énergie et par la décroissance des taux d'équipement.

Les consommations d'énergie de chauffage ont cru de 13% entre 1986 et 2000. Comme le montre Turki et al. (2002) plusieurs effets se combinent pour expliquer cette évolution. L'effet parc lié à la croissance des surfaces chauffées contribue à une hausse de 28% des consommations de chauffage. Cependant, la réduction des consommations unitaires (liées à

⁶ Données de 2000 (Turki, 2002) à partir de l'enquête du CEREN.

⁷ Consommations correspondant aux « utilisations captives de l'électricité, en ce sens qu'on ne peut leur substituer l'utilisation d'une autre forme d'énergie. Ce sont en pratique tous les usages autres que thermiques (chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson...) », Turki et al. 2001, p.1.

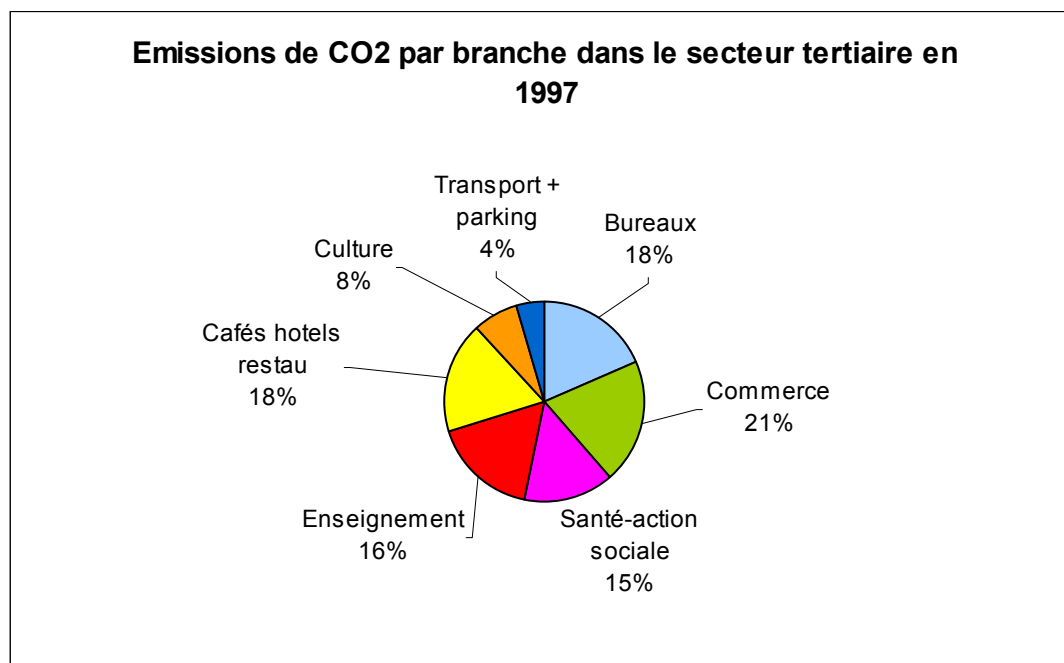
⁸ Girault (2001) pour l'année 1997 indique que le chauffage représente la moitié de la consommation d'énergie du tertiaire, la cuisine et l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) représentent environ 11% et l'électricité spécifique 38% (sur la base des consommations exprimées en Mtep). Les données diffusées par l'Observatoire de l'énergie pour l'année 2000 (Observatoire de l'énergie, 2004c, p.177) indiquent 34% pour le chauffage, 37% pour l'ECS et la cuisson, 29% pour l'ES. Ces différentes données sont issues de sources différentes (CEREN, producteurs d'énergie, SES).

l'isolation, au renouvellement des équipements de chauffage) et l'impact de la performance énergétique des constructions neuves tendent à atténuer cet effet parc.

En termes d'émissions de CO₂, d'après les données de 2000 (P. Radanne), le tertiaire représenterait plus de 10% des émissions tous secteurs.

Girault (2001), sur la base de données de 1997, propose une ventilation par branche d'activité des émissions. Les surfaces commerciales sont les premiers émetteurs de CO₂ dans le secteur des services. Ils sont suivis de près par les bureaux, cafés-restaurants-hotels, et les établissements d'enseignement.

Figure 10 : Contribution des branches aux émissions de CO₂ du secteur tertiaire en 1997



Source : Girault 2001, Note du SES 2001 mars avril, p.3

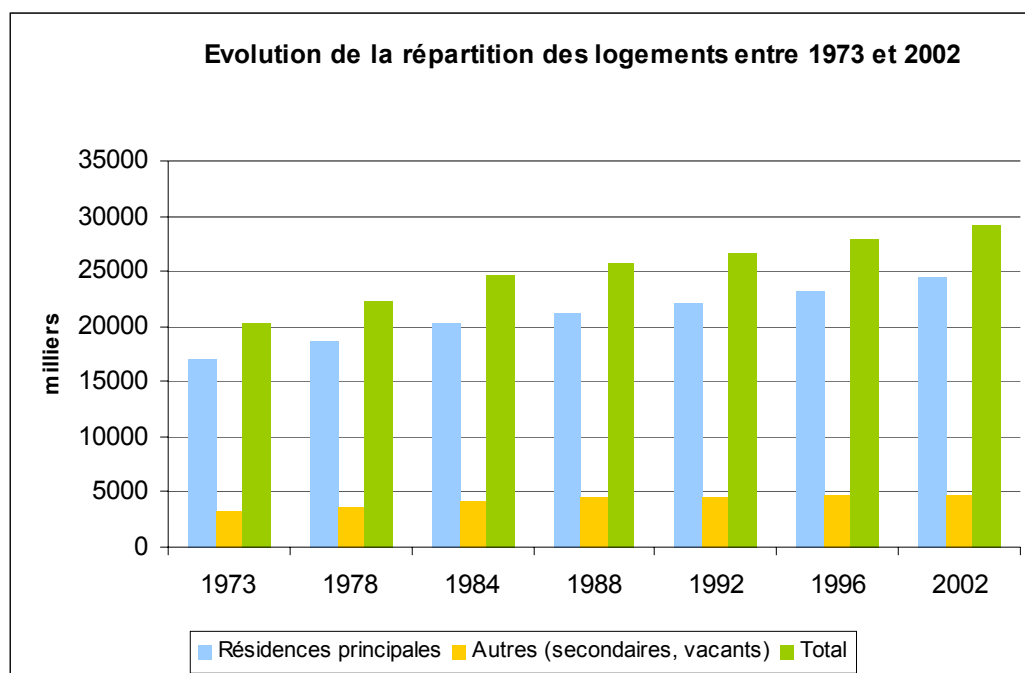
1.2.1.2 L'habitat

Les consommations énergétiques liées à l'habitat (à son exploitation) sont reprises à partir des travaux réalisés par l'INSEE (Grosmesnil et al., 2002), le SES, le LTMU. Les usages énergétiques liés à l'habitat se répartissent entre le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS), la cuisson et l'électricité spécifique (ES). L'évolution de ces consommations énergétiques est corrélée à celle du parc (notamment à l'évolution de sa taille, en termes de nombre de logements et de surfaces, et du confort des logements). Les caractéristiques liées à l'évolution du parc sont tout d'abord abordées, afin de mettre en perspective l'évolution des consommations énergétiques.

a) Le parc de logements et ses caractéristiques

En 2002, le parc de logements compte 29,5 millions de résidences dont près de 83% de résidences principales (soit 24,5 millions de logements). La surface moyenne d'une résidence principale est de 90m², pour un nombre moyen de 4 pièces et un taux d'occupation moyen de 2,4 personnes par logement.

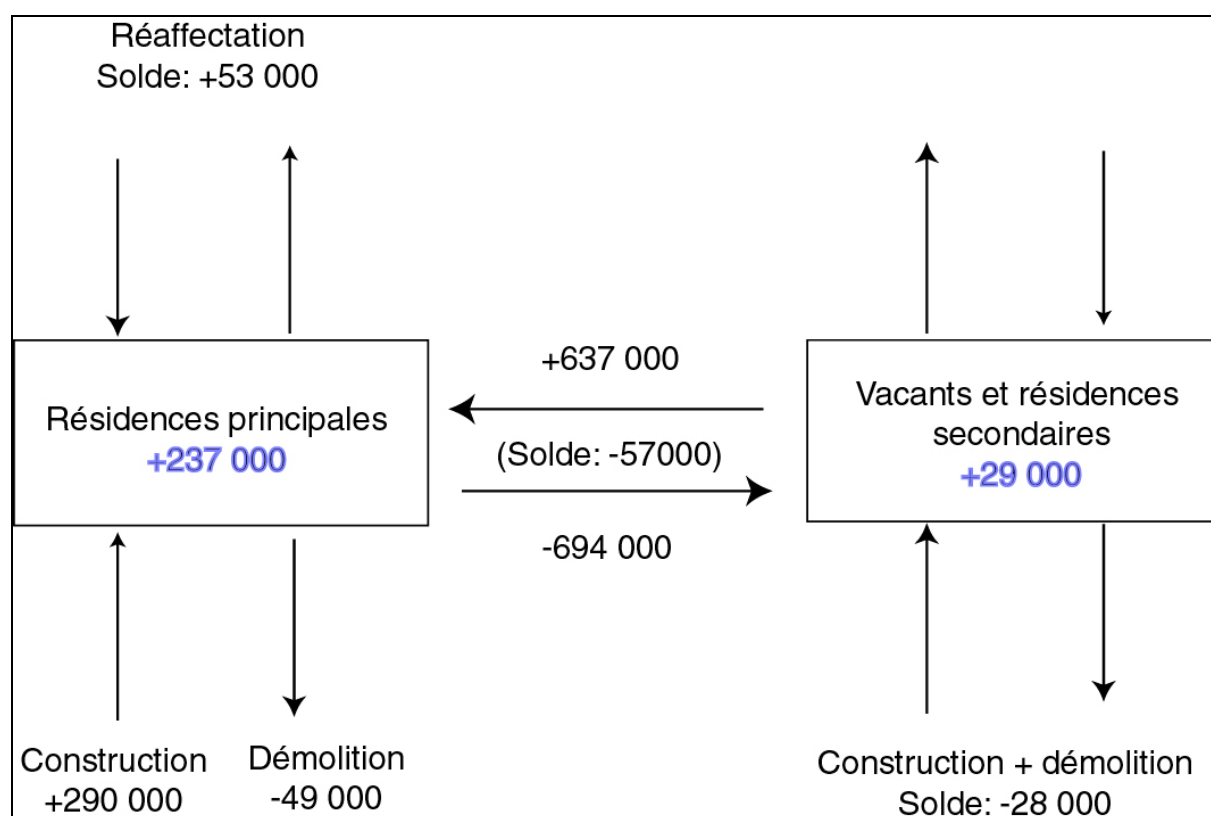
Figure 11 Evolution du parc de logements (1973 - 2002) - Données de l'enquête logement



Source : INSEE résultats octobre 2003, p.9

Ces données globales masquent des flux importants d'entrées-sorties du parc. Ils sont estimés par Traisnel (2001) (cf. Figure 12).

Figure 12 : Estimation des entrées sorties du parc pour l'année 1994



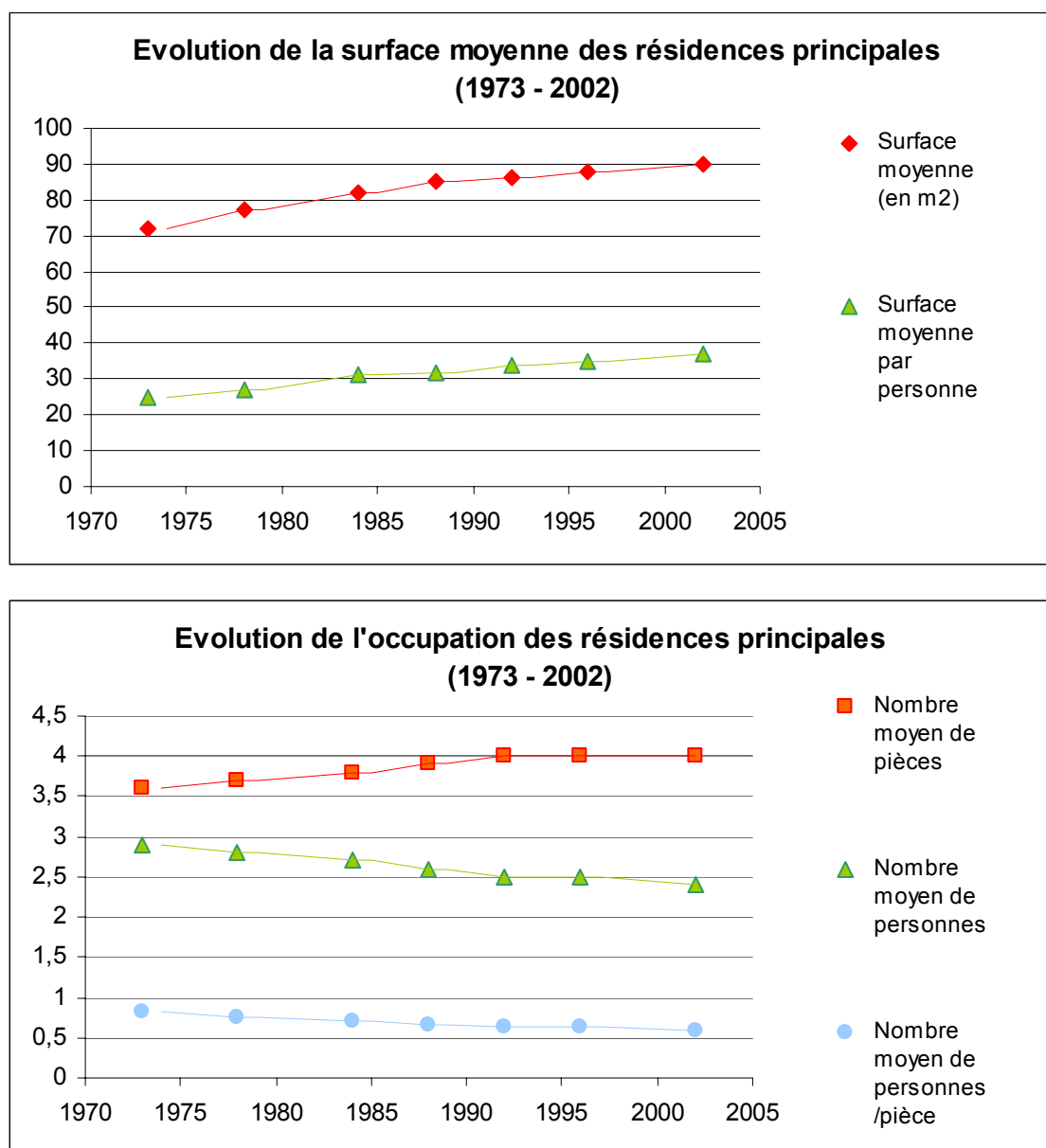
Source : Traisnel (2001), p.12

Entre 1973 et 2002, le parc de logements (et notamment de résidences principales) a cru de 43 % (67% pour les résidences secondaires).

Cette croissance du parc s'est accompagnée :

- d'une croissance relative de l'habitat individuel (habitat collectif et individuel sont à parité en 1973, l'habitat individuel représente en 2002 56% du parc),
- d'une croissance du confort (90% des logements sont tout confort en 2002, contre 44% en 1973),
- d'une croissance des surfaces moyennes des résidences principales (de 25% entre 1973 et 2002, passant d'une surface moyenne de 72m² à 90m²) ainsi que du nombre moyen de pièces de ces logements (passage de 3,5 à 4 entre 1973 et 2002),
- et d'une décroissance de leur peuplement. Alors qu'en 1973 un cinquième des logements est surpeuplé (au sens de l'indice INSEE), en 2002 les 2/3 sont sous-peuplés.

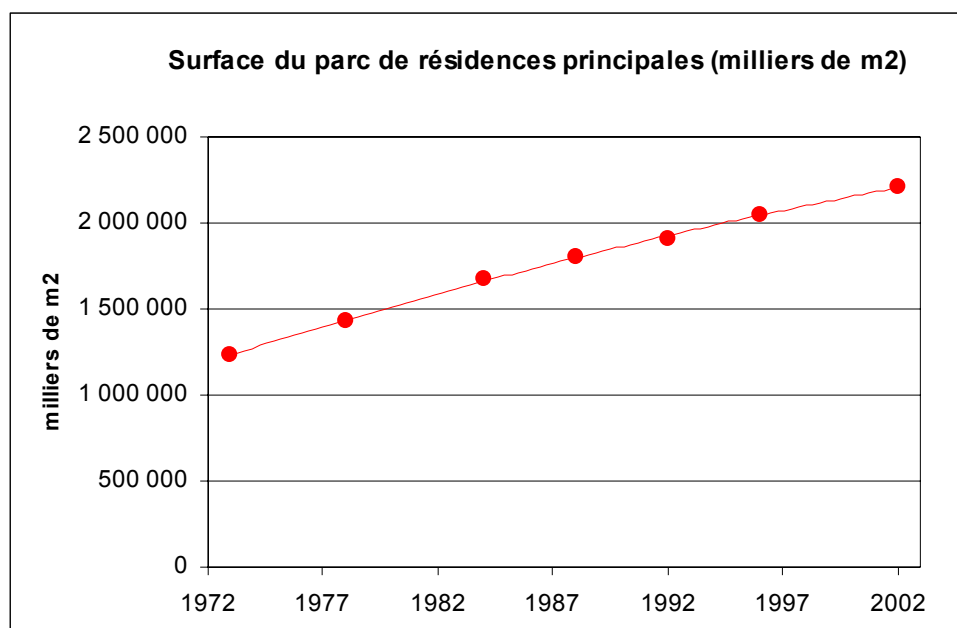
Figure 13 : Evolution de la surface moyenne et de l'occupation des résidences principales



Source : conditions du logement des ménages en 2002 – Lincot et Rieg (2003)

Ces évolutions croisées du nombre de logements et de la surface moyenne des logements, conduisent à une croissance de la surface du parc (produit du nombre de logements et de la surface moyenne d'un logement à la période considérée) de près de 80% entre 1973 et 2002 soit un taux de croissance annuel moyen de 2%.

Figure 14 : Evolution de la surface estimée du parc de résidences principales



Source : calculé d'après les données de l'enquête logement Lincot et Rieg (2003)

b) Les consommations énergétiques du résidentiel

En 2001, les consommations énergétiques du résidentiel sont estimées à 44,8 Mtep⁹. Le chauffage tient la part majeure des usages énergétiques domestiques avec près des trois quarts des consommations. Les usages « électricité spécifique » et « eau chaude sanitaire » représentent 20% des consommations (cf. Tableau 5).

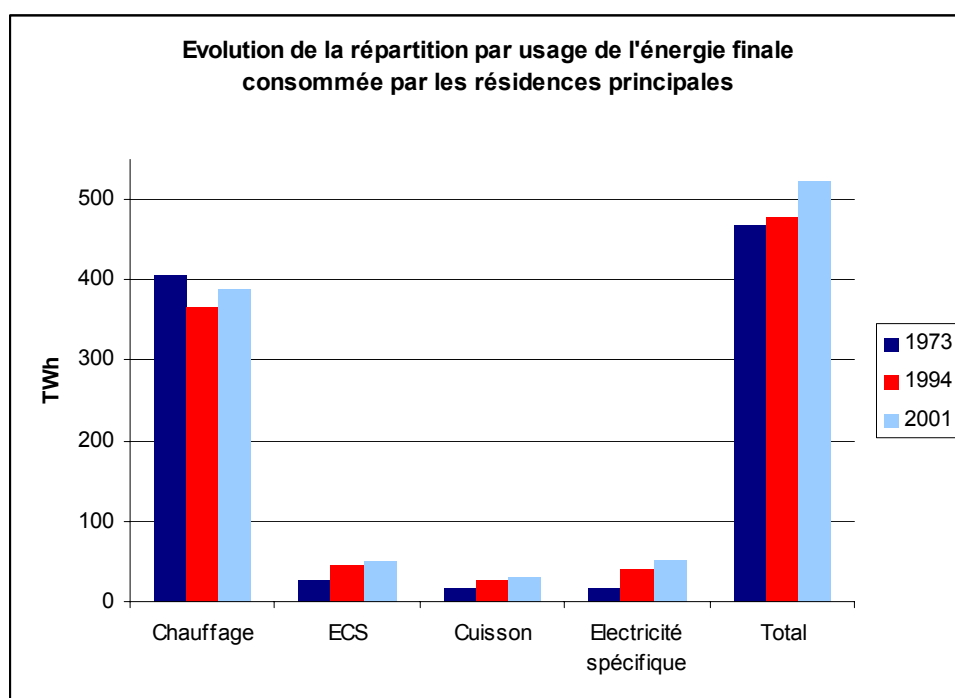
⁹ Ce chiffre est calculé à partir du Tableau 5 en appliquant le coefficient de conversion suivant 1MWh = 0,086 tep. Observatoire de l'énergie (2004c), p.177 estime les consommations du secteur résidentiel hors énergies renouvelables à 48 Mtep en 2001. En note, il est précisé que « les chiffres de consommation du secteur Résidentiel-Tertiaire sont inférieurs de 3 à 6 Mtep à ceux des bilans de l'énergie publiés par l'Observatoire de l'Energie, du fait des méthodes de calcul ».

Tableau 5 : Répartition des consommations énergétiques (énergie finale) des résidences principales par usage en 2001

	TWh	%
Chauffage	388	74
ECS	51	10
Cuisson	30	6
Electricité spécifique	53	10
Total	522	100

Source : Traisnel et Maïzia (2004), p.11

Figure 15 : Répartition par usage de l'énergie consommée par les résidences principales

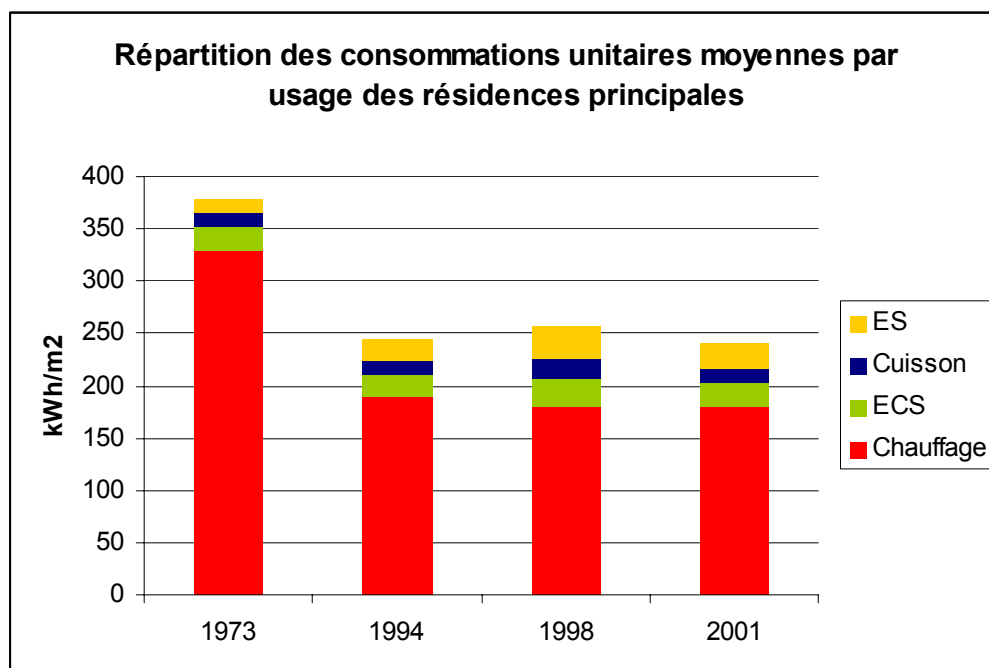


Source: Traisnel et Maïzia (2004), p.12

Dans un contexte de forte croissance des surfaces du parc entre 1973 et le début des années 2000 (*cf.* Figure 14), la croissance des consommations énergétiques est modérée (11,7% entre 1973 et 2001, soit 0,4% de taux de croissance annuel moyen).

Si l'on neutralise l'effet de la taille du parc en considérant les consommations unitaires en KWh/m² (*cf.* Figure 15), on constate une décroissance de 32% des consommations entre 1973 et 2001. Cette baisse des consommations unitaires compense partiellement les effets à la hausse liés à la croissance des surfaces et du parc de logements.

Figure 16 : Evolution des consommations unitaires moyennes par usage



Source : d'après Traisnel et Maizia (2001)

La part relative du chauffage dans les consommations énergétiques des résidences principales est en baisse depuis 1973 (il représentait alors 87% des usages). Cette évolution est liée à la part croissante d'autres usages, notamment l'électricité spécifique, dont les consommations ont plus que triplé.

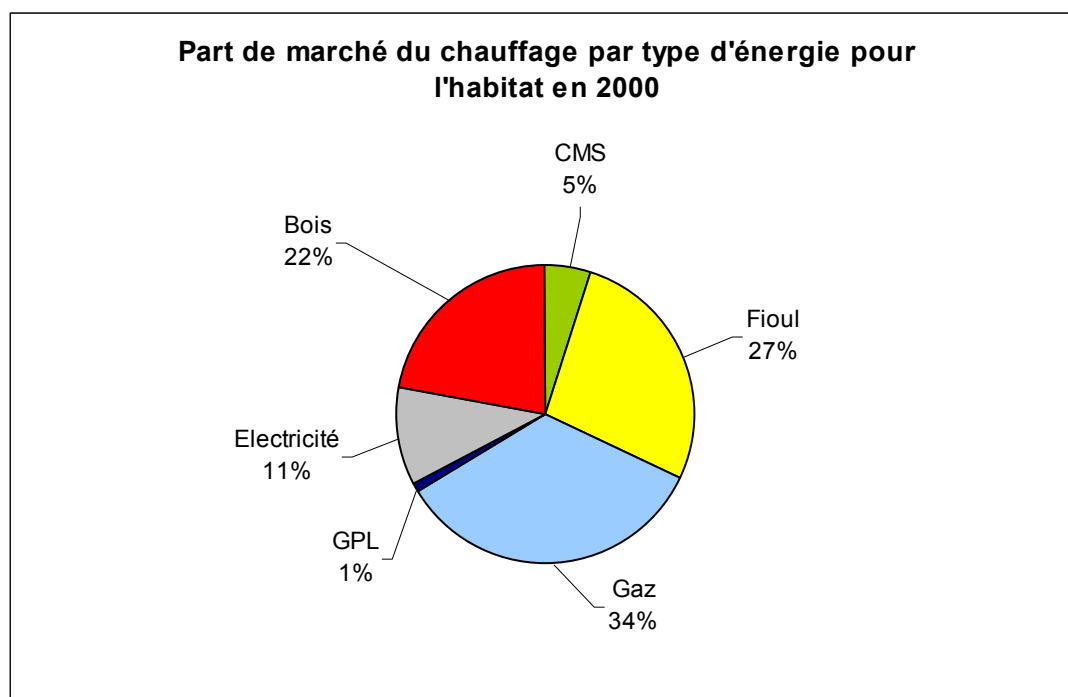
Ces différents usages sont considérés de façon plus détaillée dans ce qui suit.

Le chauffage

Le chauffage représente les trois quarts des consommations énergétiques des résidences principales (soit 388 TWh en 2001). Les consommations unitaires moyennes de chauffage s'élèvent à 179 kWh/m² en 2001.

La répartition des différentes sources d'énergie pour l'habitat cette fois, place le gaz en première place (34% de parts de marché), suivi du fioul (27%) puis du bois (22%).

Figure 17 : Part de marché du chauffage de l'habitat en 2000 (%)



*CMS = Combustibles Minéraux Solides

Source : Traisnel et Maïzia (2004), p15

La consommation énergétique totale de chauffage a décliné de 4,5% entre 1973 et 2001, dans un contexte de forte croissance des surfaces du parc. Les consommations unitaires ont donc fortement diminué sur la période (- 45%).

Plusieurs effets permettent d'expliquer cette évolution (Girault, 2000 et Traisnel, 2001), effets liés à l'évolution de la structure du parc, effets liés aux choix individuels également (notamment aux investissements et comportements de consommation).

Le renforcement progressif de la réglementation thermique depuis 1974¹⁰ conduit à l'amélioration des conditions d'isolation des logements, et à terme à une réduction progressive des consommations¹¹. Traisnel (2001) estime les gains associés à la réglementation thermique touchant les constructions neuves à 160 TWh pour l'année 98 (ces gains sont estimés par comparaison à un scénario sans régulation thermique). La rénovation urbaine et les réhabilitations sont également des sources potentielles d'amélioration de la performance énergétique du bâti¹².

¹⁰ Traisnel (2001) indique que la réglementation de 1975 a réduit les consommations de chauffage pour les constructions neuves de 20 à 25% en moyenne (en réglementant les valeurs extrêmes du coefficient de déperdition volumique de chaleur, G, selon le type de logement et sa position dans l'immeuble). Cette réduction s'est poursuivie par la réglementation de 1985, puis entre 85-88 avec la réglementation tenant compte de la totalité des usages énergétiques. La nouvelle réglementation thermique de 2000 applique à l'ensemble du parc les niveaux d'isolation appliqués pour le chauffage électrique.

¹¹ La mise en place de la réglementation 2005 doit conduire à une réduction des consommations de 15%.

¹² Traisnel (2001) souligne que la réhabilitation thermique d'un logement ancien peu performant sur ce plan (soit ayant une consommation de chauffage moyenne supérieure à 395 kWh/m²) peut conduire à des économies de l'ordre de 200 kWh/m².

Tableau 6 : Consommation des logements neufs en kWh/m2

Période de construction	Maison Individuelle		Immeuble Collectif		Moyenne estimée
	gaz	électricité	gaz	électricité	
Avant 75	234	117	170	137	240 à 300
Réglementation 75	191	69	151	90	180
Réglementation 1982	145	54	100	79	130
Réglementation 1985					100
Réglementation 1989	136	51	75	54	85 à 95
Evolution 1974 - 1989	-42%	-56%	-56%	-60%	

Source : Traisnel (2001), p.64 d'après CEREN 1998

L'effet de la réglementation thermique conduirait à une réduction de 40 à 60% de la consommation d'énergie par logement entre 1974 et 1989.

Girault (2000) tente d'évaluer l'impact des différents effets à l'œuvre dans l'évolution des consommations énergétiques. Il attribue à la croissance du nombre de logements un effet explicatif de l'ordre de +1,3% sur la croissance des consommations énergétiques entre 1973 et 1997. Il relève, en revanche, l'effet modérateur sur les consommations, des consommations unitaires (c'est-à-dire des comportements individuels de régulation au quotidien et des investissements individuels) ainsi que des effets de structure (de déformation de la structure du parc de logements). Ces effets sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Analyse de la consommation d'énergie de chauffage – effet de la structure du parc sur la croissance annuelle de la consommation d'énergie en %

%	1973-1997	1991-1997
Renouvellement du parc par des logements neufs mieux isolés	-0,4%	-0,3%
Développement du chauffage électrique	-0,2%	-0,1%
Changement de combustible	-0,1%	-0,3%
Passage du CC collectif à l'individuel	0	-0,1%
Partage entre logement collectif et individuel	0,1%	0
Remplacement d'appareils indépendants par du chauffage central	0,3%	0,1%
Effet de structure total	-0,4%	-0,6%

Source : Girault (2000) – Note de synthèse du SES mai juin 2000

La croissance de la part de marché du chauffage électrique induirait une réduction de la consommation¹³. L'évolution vers un parc qui tend à s'individualiser aurait un effet neutre sur les consommations énergétiques.

¹³ L'auteur explique ce résultat par l'efficacité énergétique de cette énergie, les possibilités de régulation thermique qu'elle offre, possibilités que les utilisateurs sont enclins à exploiter du fait de son coût élevé.

La structure des consommations d'énergie de chauffage a été sensiblement modifiée entre 1973 et 2002. Le charbon a été très fortement réduit, l'électricité a presque été multipliée par 10, le gaz par 5, la consommation de fioul a été réduite de moitié.

Les autres usages

Les usages autres que le chauffage s'élèvent à 11,6 Mtep en 2001, dont la part la plus importante revient à l'électricité spécifique (plus de 40%), et le tiers à l'eau chaude sanitaire (cf. Tableau 8).

Tableau 8 : Usages autres que le chauffage (Mtep)¹⁴

Millions de Tep	2001
ECS	4
Cuisson	2,6
Electricité spécifique	5
Total	11,6

Source : DGEMP - Observatoire de l'énergie (2004b), p.177 (CDF, CEREN, EDF, GDF)

Les consommations liées à l'eau chaude sanitaire, à l'électricité spécifique connaissent une forte croissance entre 1973 et 2001.

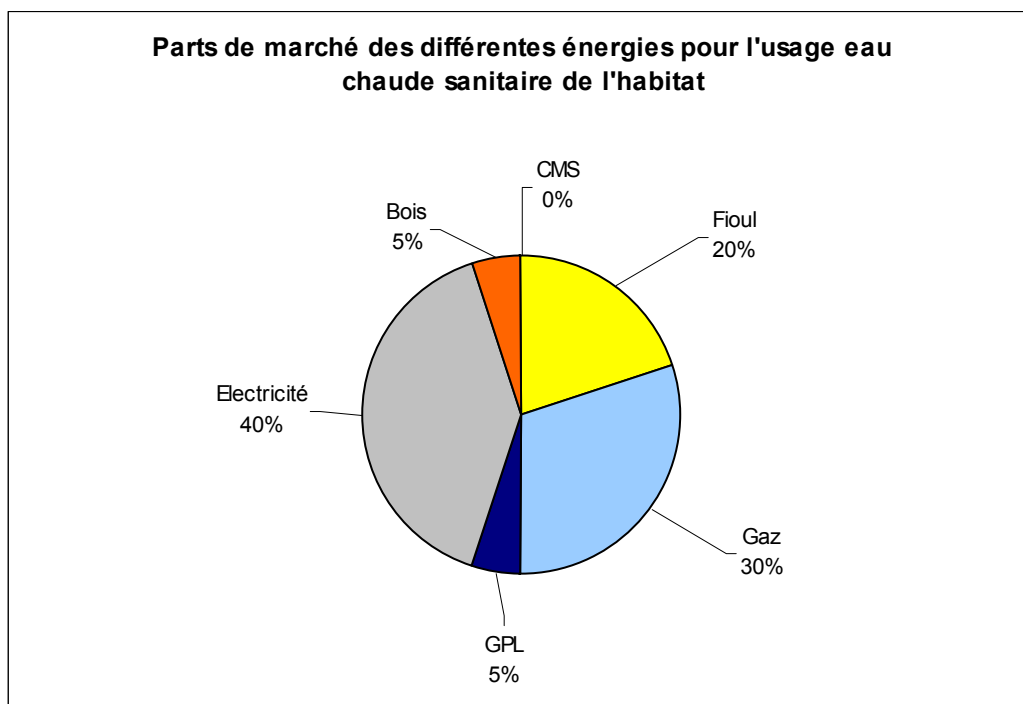
- les consommations liées à la cuisson croissent de 73%, celles liées à l'eau chaude sanitaire de 91%

Cette évolution peut, là encore, être associée à un effet parc (soit à l'augmentation du nombre de logements), mais également à l'amélioration du confort soulignée plus haut.

En 2000, la production d'eau chaude sanitaire pour l'habitat est majoritairement assurée par l'électricité puis par le gaz, qui représentent à eux seuls 70% de part de marché (Figure 18).

¹⁴ Traisnel et Maizia (2004, p.11) fournit une estimation, sur la base des données CEREN, SES qui place ECS et ES à des niveaux équivalents (avec 51 et 53 TWh d'énergie consommée en 2001 par les résidences principales).

Figure 18 : Parts de marché des différentes énergies dans les consommations d'eau chaude sanitaire de l'habitat en 2000

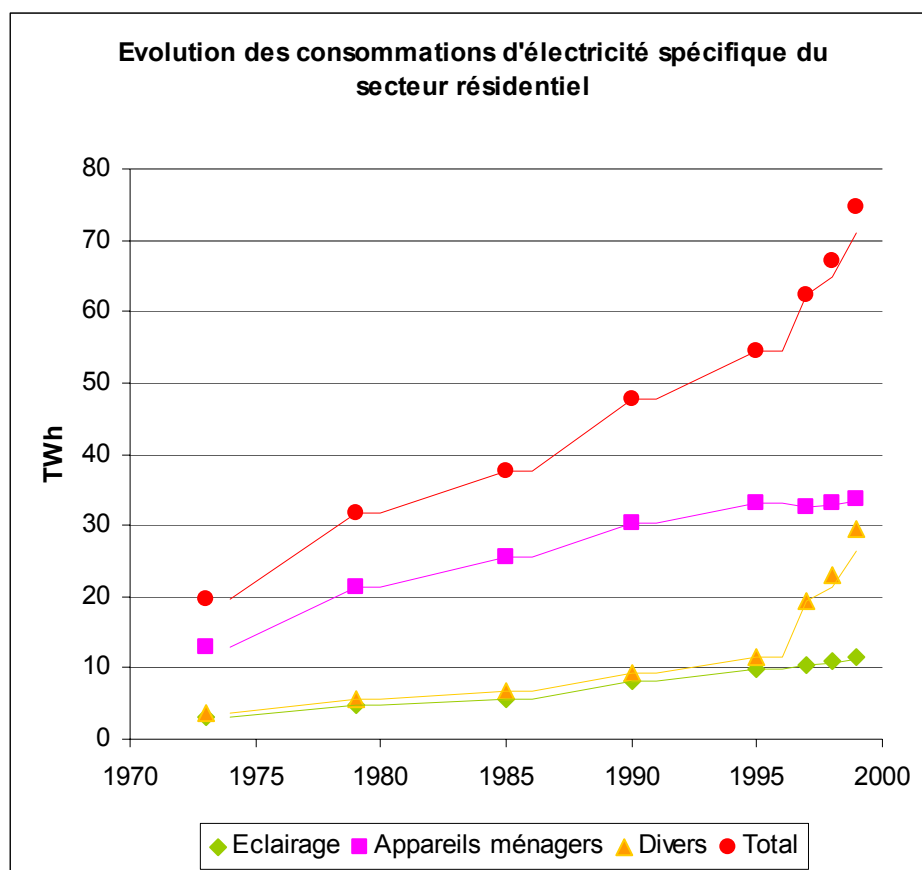


Source : Traisnel (2001)

- les consommations liées à l'électricité spécifique triplent (selon les données EDF, elles quadruplent quasiment du fait de la croissance de l'équipement des ménages, hors électroménager¹⁵, notamment, cf. Figure 19)

¹⁵ Réfrigérateurs, congélateurs, lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, téléviseurs.

Figure 19 : Consommations d'électricité spécifique 1973 - 1999



Source : DGEMP - Observatoire de l'énergie (2004b), p.179, d'après les données des producteurs d'énergie

c) Les émissions de CO₂ du résidentiel

Les émissions de CO₂ liées à l'habitat peuvent être estimées pour l'année 2000 à 22,76 MtC (soit environ 77 Mt de CO₂). Les émissions associées aux usages « chauffage » et « eau chaude sanitaire » des résidences principales sont estimées, respectivement, pour cette même année à 67,1 et 8,4 millions de tonnes de CO₂.

Le différentiel d'émission unitaire selon l'usage les sources d'énergie utilisées (g CO₂ émis/kWhe d'énergie utilisée) varie d'un à 4,5.

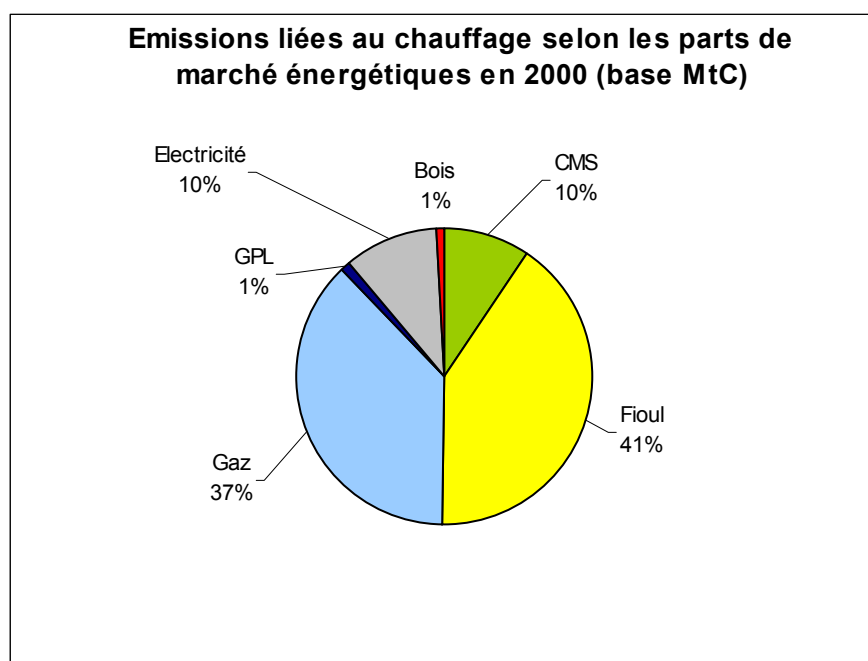
Tableau 9 : Indicateurs de contenu en CO2 de l'électricité consommée en France

(en g de CO2/kWhe)

Usage	valeur moyenne (en g de CO2/kWhe)
chauffage+pompes de circ.	180
éclairage résidentiel	116
éclairage tertiaire	80
éclairage public et industriel	109
usages résidentiels : cuisson	82
usages résidentiels : lavage	79
usages résidentiels : produits bruns	62
usages tertiaires : autres	52
usages résidentiels : ECS	40

Cela induit une répartition des émissions par énergie (cf. Figure 20 et Figure 21) relativement différente de celle des consommations énergétiques (cf. Figure 17 et Figure 18).

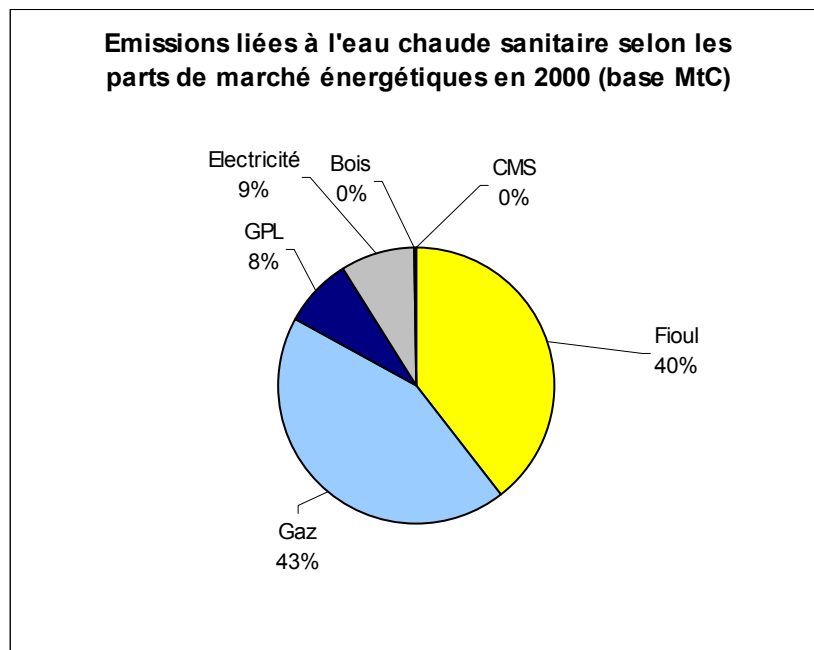
Alors qu'ils représentent 60% des consommations énergétiques destinées au chauffage, le gaz et le fuel représentent plus de 80% des émissions de CO₂ liées à cet usage.

Figure 20 : Emissions liées au chauffage selon les parts de marché énergétiques en 2000

Source : Traisnel et Maizia (2004), p. 15, en incluant les données de la NOTE DE CADRAGE SUR LE CONTENU CO2 DU KWh PAR USAGE EN France, ADEME, 14 janvier 2005

Alors qu'ils représentent 50% des consommations énergétiques destinées à produire de l'ECS, le gaz et le fuel représentent plus de 70% des émissions de CO₂ liées à cet usage.

Figure 21 : Emissions liées à l'eau chaude sanitaire selon les parts de marché en 2000



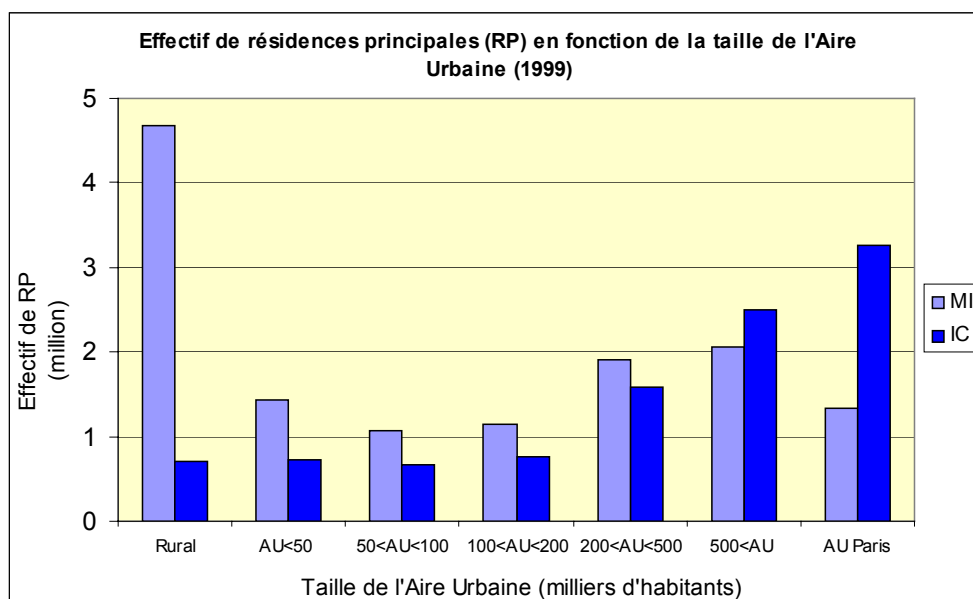
Source: Traisnel et Maïzia (2004), p. 15, en incluant les données de la NOTE DE CADRAGE SUR LE CONTENU CO₂ DU KWh PAR USAGE EN France, ADEME, 14 janvier 2005

1.2.2 Consommations et émissions de l'habitat : deux entrées, deux perspectives

Consommations et émissions peuvent être décomposées selon deux entrées. L'entrée par les localisations permet de fixer les parts relatives de l'habitat collectif et individuel, selon les types d'espace. L'entrée par le parc permet de restituer les parts de marché des différents types de chauffage selon les types de logement.

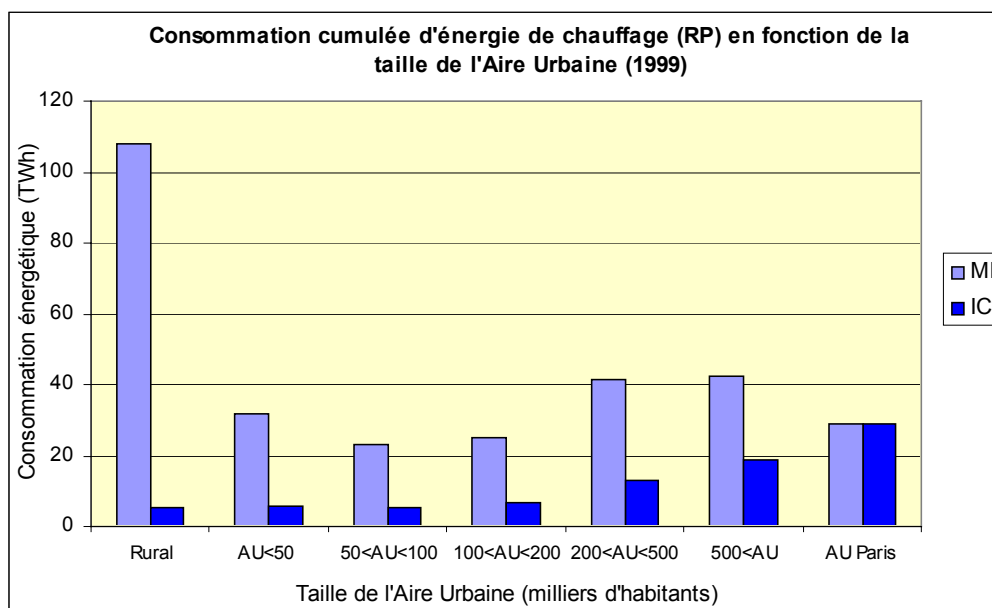
1.2.2.1 Entrée par la localisation

Figure 22 : Effectif de résidences principales en fonction de la taille de l'aire urbaine



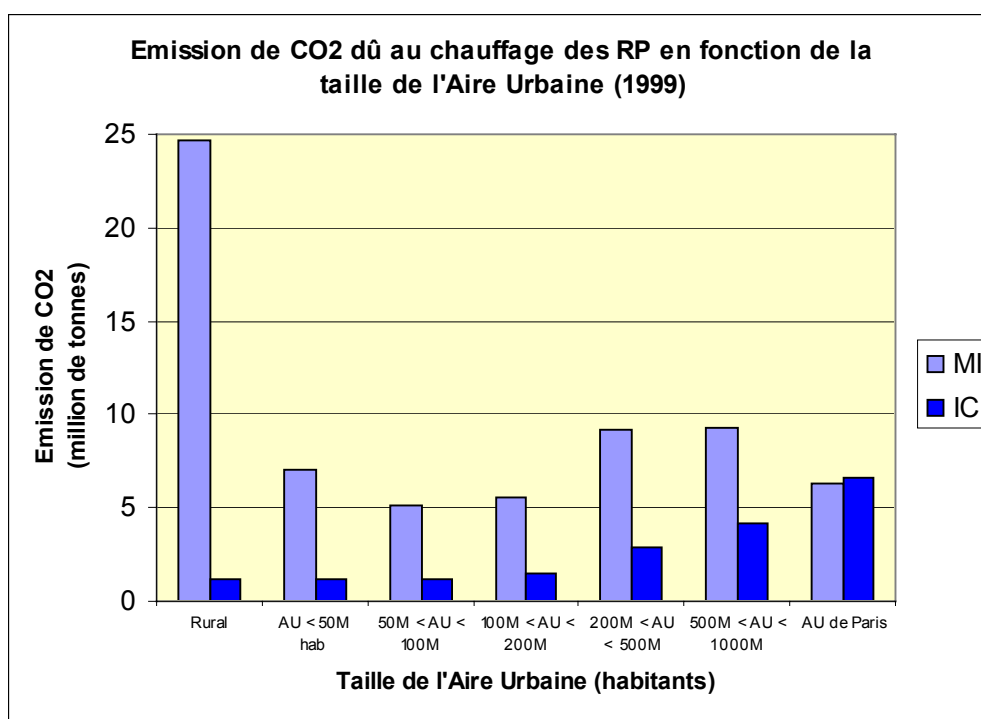
La répartition du parc de résidences principales montre que les zones rurales comptent l'essentiel des maisons individuelles (plus du tiers des effectifs), celles-ci dominant les logements en immeubles collectifs dans les zones urbaines de moins de 500.000 habitants. Au-delà, se trouvent l'essentiel des appartements (32% pour l'aire urbaine de la région parisienne et 24,6% pour les autres zones urbaines de plus de 500.000 habitants). Pour le rural et les aires urbaines de taille inférieure à 200.000 habitants, le nombre de logements en immeuble collectif s'établit à environ 700.000 unités, compte tenu du découpage choisi.

Figure 23 : Consommation cumulée d'énergie de chauffage en fonction de la taille de l'aire urbaine



Sous réserve de l'affectation des consommations unitaires, qui doit faire l'objet d'un calage à l'échelle nationale, la répartition des consommations de chauffage entre les aires urbaines et les catégories de logements (individuel ou collectif) amplifie les écarts entre les maisons individuelles, là où elles dominent en effectifs, et les appartements. Globalement, le rapport de consommation MI/IC, par logement, s'établirait de 2 à 1, ce qui est sans doute surévalué.

Figure 24 : Emissions de CO2 dues au chauffage en fonction de la taille de l'aire urbaine



1.2.2.2 Entrée par le parc (type, zone climatique, moyen de chauffage)

En maisons individuelles, le fuel et le gaz de ville représentent les énergies de chauffage les plus utilisées (respectivement, 23 et 24% des effectifs), ce qui se traduit par une importante contribution aux émissions de CO2. En incluant le gaz de pétrole liquéfié (GPL), cela représente 55% du total des émissions des maisons individuelles.

En immeuble collectif, le gaz domine soit en chauffage central collectif (23,4% des effectifs des appartements), soit en chaudière individuelle (23%). Le fuel est encore présent dans les installations collectives, mais beaucoup moins en chaudière individuelle (respectivement 10,8 et 1,2%). L'ensemble de ces deux combustibles contribue, avec le GPL, à 60% des émissions des immeubles collectifs.

Figure 25 : Effectifs de résidences principales en fonction du type de logement et de l'équipement de chauffage

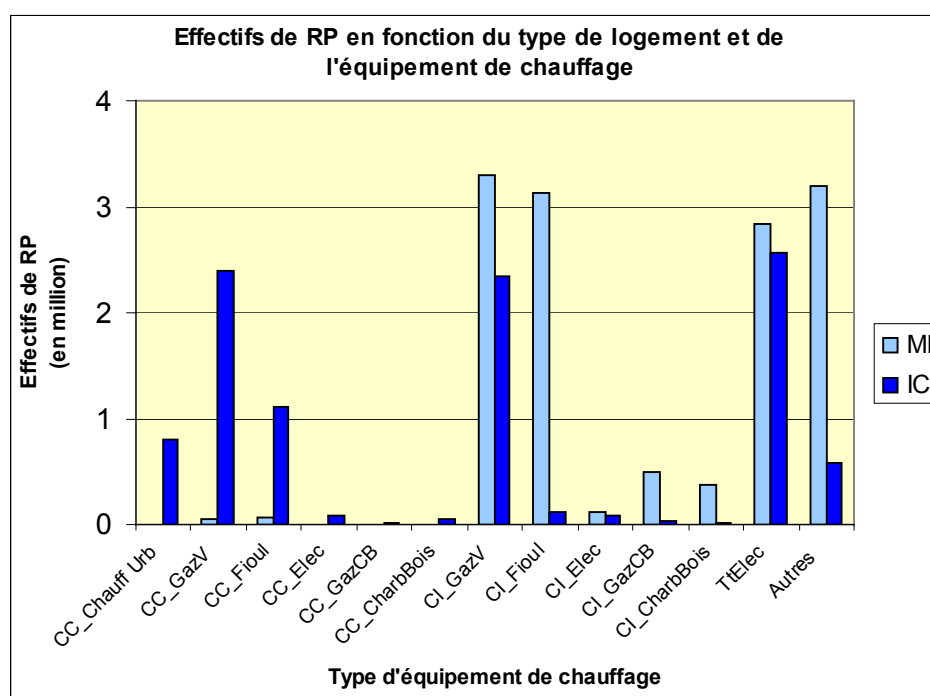


Figure 26 : Emissions de CO2 en fonction du type de chauffage et du type de logement

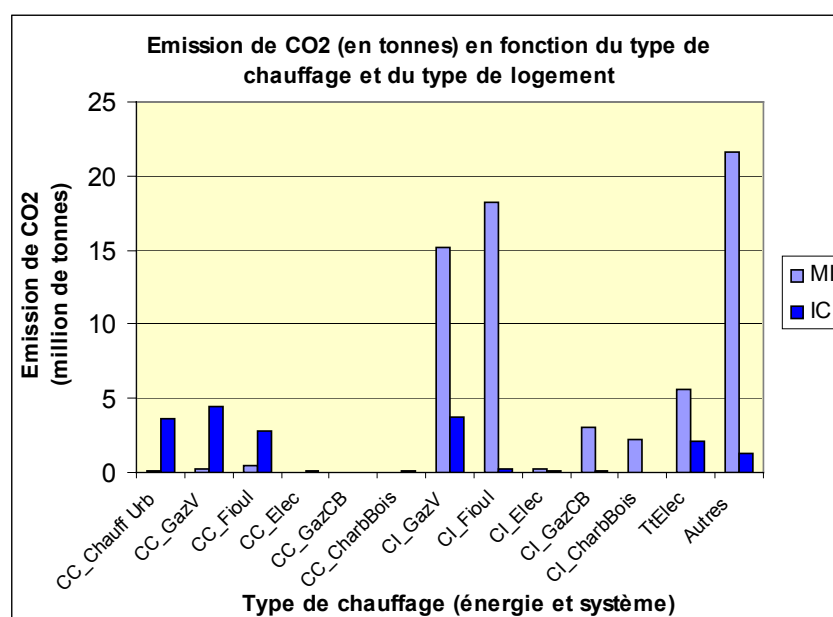
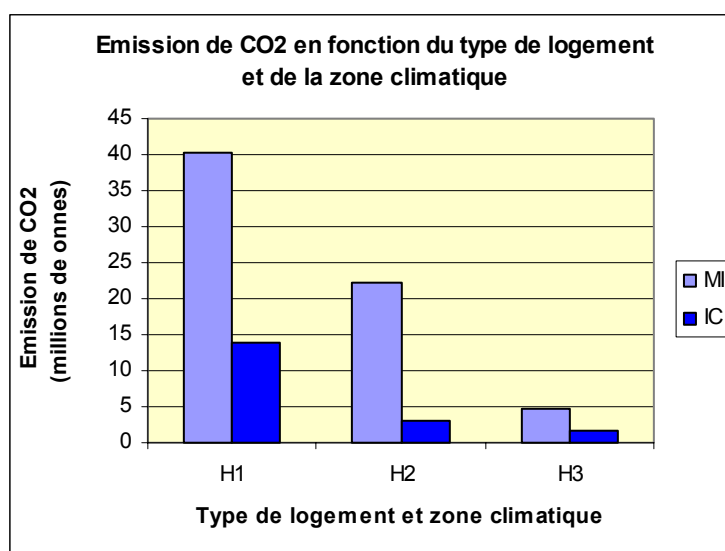


Figure 27 : Emissions de CO2 en fonction du type de logement et de la zone climatique



L'effet « zone climatique » est également important, et traduit simultanément la rigueur de la saison de chauffage et la répartition des effectifs, la zone H1 rassemblant environ 60% de la population.

1.3 Consommations énergétiques et émissions de CO₂ liées au transport

Il est délicat de donner une image globale des consommations énergétiques liées au transport. En effet, plusieurs entrées sont possibles, et pour chacune de ces entrées, les données disponibles font appel à des sources différentes : données d'enquête, données calculées, combinées ou reconstituées. On peut distinguer parmi les entrées possibles, une approche « parc-circulation-consommation » (en référence aux Comptes Transport de la Nation), et une approche par les localisations et la mobilité. Chacune de ces approches mobilise des sources de données différentes, combine des approches différentes.

Différentes sources de données peuvent être distinguées. On peut évoquer tout d'abord les données d'enquête relatives à l'utilisation du parc automobile – les données de l'enquête « Parc Automobile des ménages »¹⁶ - ou à la mobilité – les données de l'Enquête Transport Communications -. Par ailleurs, les données relatives à la structure du parc automobile (données CCFA) et aux consommations énergétiques (données CPDP), permettent d'appréhender la structure du parc, et les consommations de carburant dans leur globalité.

Sur la base de ces données, plusieurs grandeurs peuvent être reconstituées, permettant de broser un panorama des consommations énergétiques. Ainsi :

¹⁶ L'enquête est réalisée auprès du panel SOFRES parc auto. Elle livre des données liées à la composition du parc de véhicules, ainsi qu'à son utilisation. La consommation de carburant est appréhendée sur une base déclarative. Elle permet de croiser un certain nombre d'informations relatives au ménage : localisation, composition, revenu.

- les Comptes Transport de la Nation (CTN)

Ils fournissent une estimation des circulations et des consommations énergétiques globales. Elle est effectuée sur la base d'un certain nombre de grandeurs : les données relatives au parc (CCFA), les estimations des consommations unitaires et des kilométrages annuels moyens (panel ADEME Secodip), les livraisons de carburant (CPDP). Deux formules servent à établir le bilan « parc-circulation-énergie » :

Parc (véhicules immatriculés en France)*kilométrage annuel moyen = circulation (v-km)

Circulation (tous véhicules) en v-km*consommation unitaire = livraisons de carburant + achat aux frontières¹⁷.

Ces équations sont simultanément résolues par itération pour chaque type de véhicule et type de motorisation (utilisation du diesel ou de l'essence).

- le Compte Satellite des Transports Urbains et de la Route en 1996

Il propose une ventilation des trafics et des dépenses associées entre types d'espace urbain et rural. Les trafics sont estimés à partir de l'ETC 1993-1994¹⁸ pour les VP et VUL. Les trafics sont ensuite recalés à partir du rapport de la CCTN pour l'année 1996 (qui donne des résultats globaux par type de véhicule). Pour les PL, l'enquête TRM est utilisée. Les achats de carburants sont ventilés à partir de cette répartition des trafics.

Après avoir précisé quelques ordres de grandeurs quant aux consommations énergétiques du transport (en termes de parts modales et de parts respectives du transport de personnes et de marchandises), l'accent est mis sur le transport routier en tant que principal mode émetteur de CO₂.

1.3.1 Energie, carburant fossile et émissions de CO₂ du transport

Sont successivement abordées les consommations énergétiques globales, les consommations de carburant fossile, puis les émissions de CO₂ du transport, ventilées par mode quand cela est possible.

1.3.1.1 Consommations énergétiques globales du transport

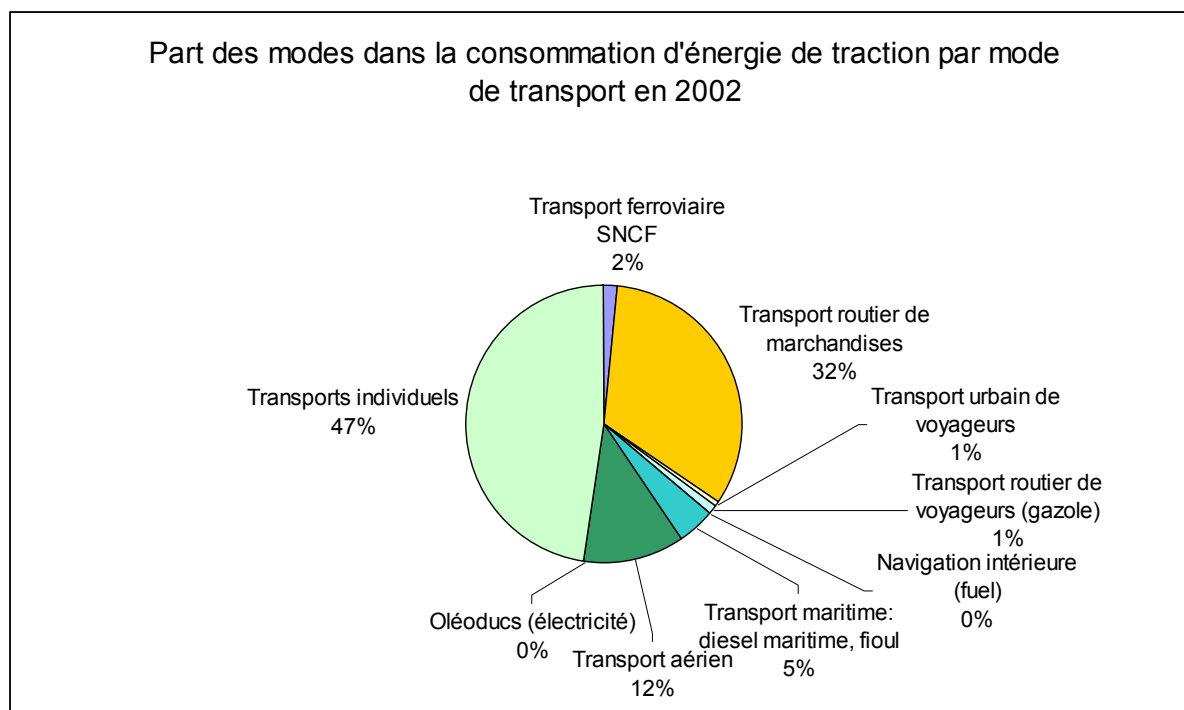
Les Comptes Transport de la Nation présentent une ventilation par mode des consommations énergétiques de traction. En 2002, avec 25,21 millions de TEP soit 48% des consommations totales, le transport individuel¹⁹ se place au premier rang des consommations d'énergie de traction. Le transport routier de marchandises se place au second rang (17,5 millions de TEP soit 32% des consommations totales).

¹⁷ CCTN, bilan 2002, p.183 et 60 pour le détail de la méthodologie

¹⁸ Les communes sont rattachées à leur aire urbaine (zonage de 90). Puis les déplacements sont regroupés selon une typologie (selon le type d'espace d'origine et de destination). Les distances parcourues sont reconstituées sur la base des données de l'ETC.

¹⁹ Le transport individuel regroupe les deux roues, les voitures particulières, les taxis et les VUL étrangers.

Figure 28 : Consommation d'énergie de traction par mode de transport en 2002

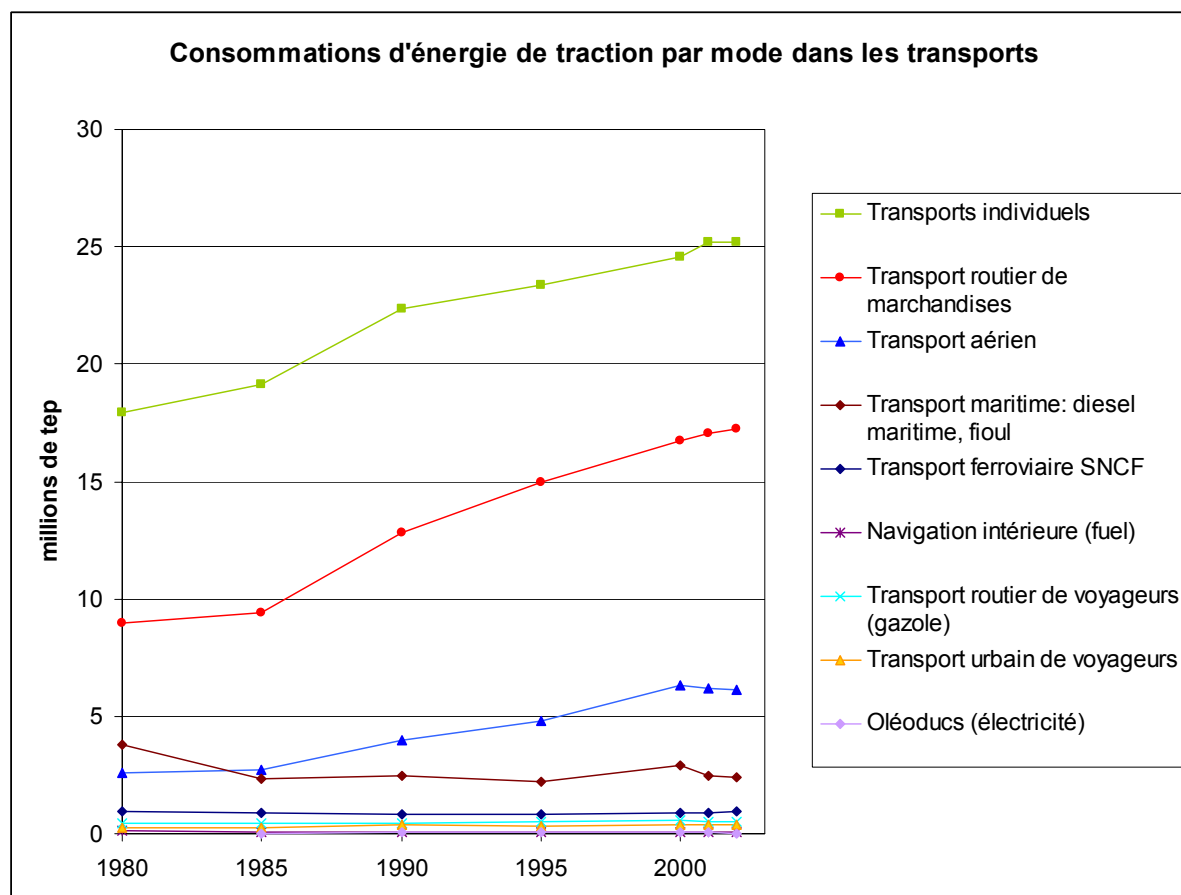


Source: Comptes transport en 2002

Entre 1980 et 2002 les consommations globales du transport croissent de plus de 50% soit un taux de croissance annuel moyen de 1,9%.

Cette croissance est très largement tirée par le transport aérien dont les consommations croissent de 138% sur la période (soit à un taux de croissance annuel moyen de 4%) et le transport routier de marchandises (avec une croissance des consommations de 92% soit à un taux de croissance annuel moyen de 3%). Les transports individuels voient eux aussi leurs consommations augmenter fortement d'environ 40%.

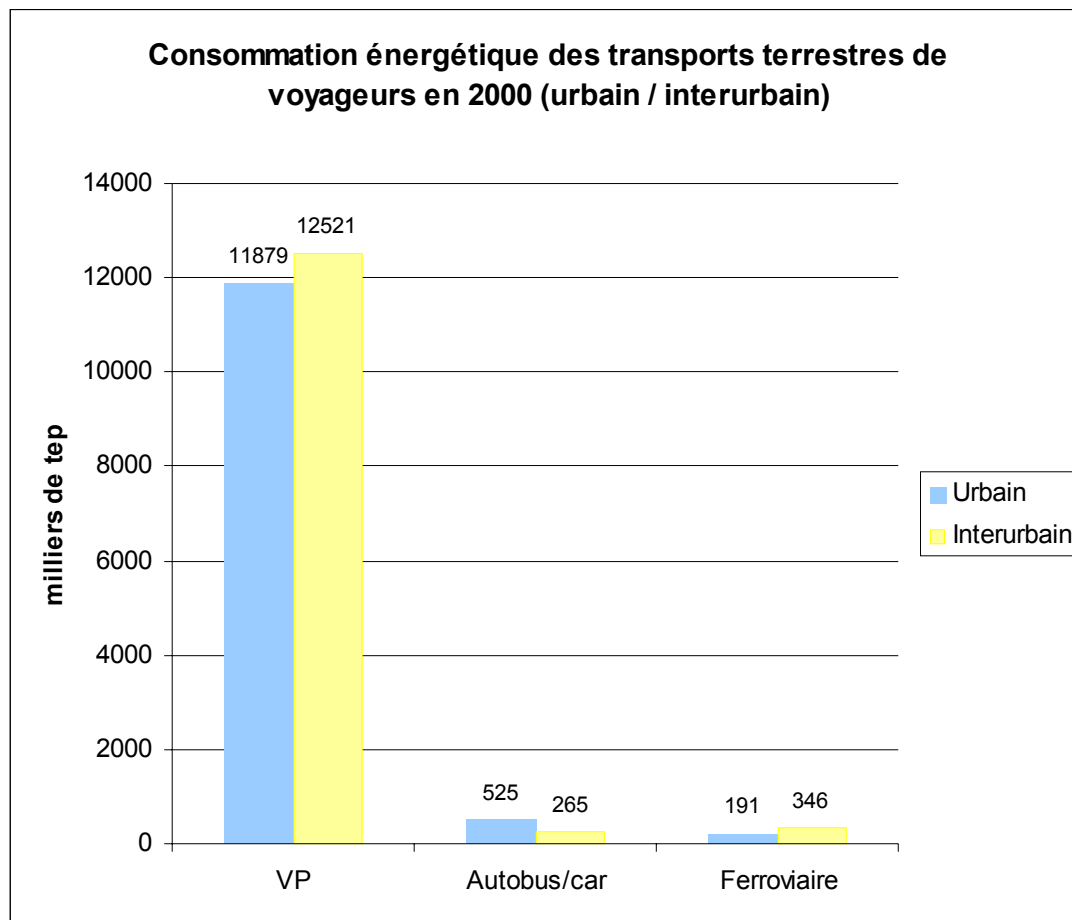
Figure 29 : Evolution des consommations d'énergie de traction par mode (1980 – 2002)



Source : INSEE - CCTN 2002, p.187

Afin de distinguer plus finement, les parts du transport de voyageurs, nous reprenons les données fournies par l'Observatoire de l'Energie (DGEMP - Observatoire de l'Energie, 2004c, p.171). Sur la base de données ADEME, il reconstitue les consommations énergétiques des transports terrestres de voyageurs par type de trafic (urbain/interurbain). Les consommations associées à la voiture particulière sont de l'ordre de 24 millions de tep (se répartissant à peu près également entre l'urbain et l'interurbain), soit 95% des consommations énergétiques totales du transport terrestre de voyageurs.

Figure 30 : Consommations énergétiques des transports terrestres de voyageurs par type de trafic (urbain/interurbain)



Source : DGEMP - Observatoire de l'Energie (2004c), p.171

1.3.1.2 Consommations de produits pétroliers

Le transport représente plus de 65% des consommations de produits pétroliers de l'ensemble des secteurs d'activité.

Les produits pétroliers représentent l'essentiel des consommations énergétiques du transport (98% des consommations d'énergie de traction). La consommation de produits pétroliers est absorbée à 83% par le mode routier.

Les consommations de produits pétroliers du mode routier se répartissent globalement entre 60% pour le transport de personnes et 40% pour le transport de marchandises²⁰.

²⁰ Il s'agit d'une estimation grossière élaborée à partir de données ne permettant pas de distinguer finement les trafics du ferroviaire par exemple. Les estimations réalisées par l'Observatoire de l'énergie, sur la consommation énergétique du transport terrestre (et non exclusivement la consommation pétrolière) attribuent une part de 67,7% (soit 24 915 Mtep) des consommations énergétiques au transport terrestre routier de voyageurs, et 32,4% au transport routier de marchandises (soit 11 947 Mtep). Cf. Observatoire de l'énergie, 2004b, p.171-172.

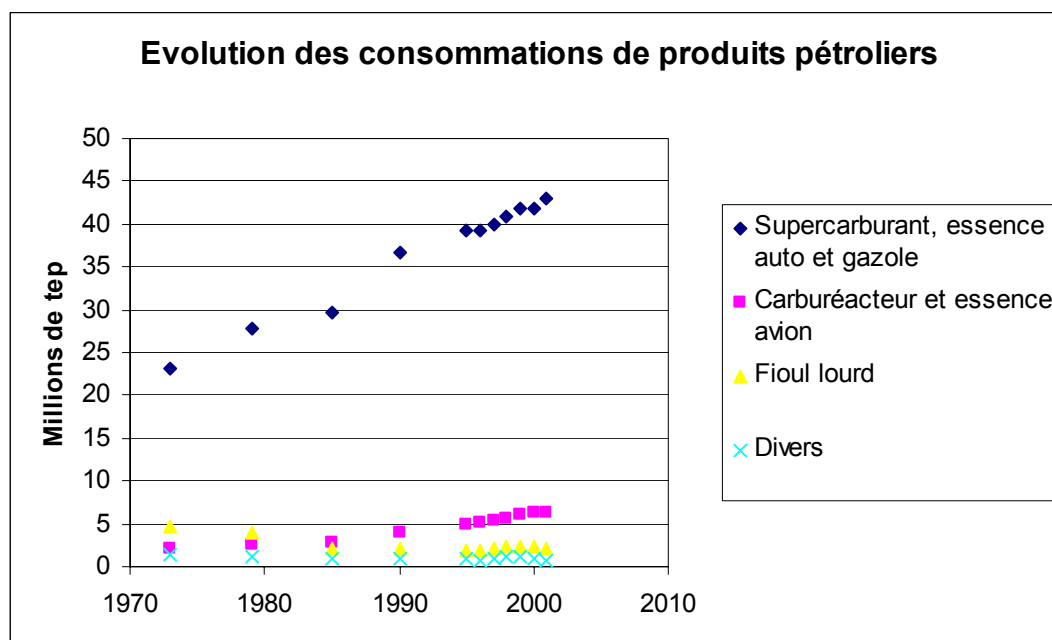
Tableau 10 : Consommation d'énergie de traction: ventilation des consommations de produits pétroliers en 2002

Tous modes de transport	% Consommations énergie de traction	Ventilation par mode	% Consommation produits pétroliers	Mode routier	% Consommation produits pétroliers
Essence / gazole / fioul	98,0	Mode routier	83,0	Transport de marchandises	40,0
Gaz naturel / GPL	0,5	Aérien	11,8	Transport de personnes	60,0
Electricité	1,5	Fluvio-maritime	4,7		100,0
	100,0	Fer	0,4		
			100,0		

(rapport CCTN 2002)

L'évolution des consommations de produits pétroliers par type de carburant, révèle une croissance de près de 70% entre 1973 et le début des années 2000. La consommation de supercarburants, essences auto et gazole croît de 85% (la croissance des consommations de gazole est, elle supérieure à 300%). Le carburant utilisé par l'aérien connaît également une croissance importante : +210% sur la période.

Figure 31 : Evolution des consommations de produits pétroliers



Sources: *Energie et matières premières – DGEMP (données CPDP, DGEMP - Observatoire de l'énergie, bilans de l'énergie modifiés par l'adjonction des soutes maritimes internationales) (divers = GPL, notamment)*

1.3.1.3 Emissions de CO₂

En 2003, le transport représente 28% des émissions brutes totales (soit 137 millions de tonnes sur les 490 millions de tonnes d'émissions brutes totales). L'essentiel des émissions (94%) est issu du mode routier.

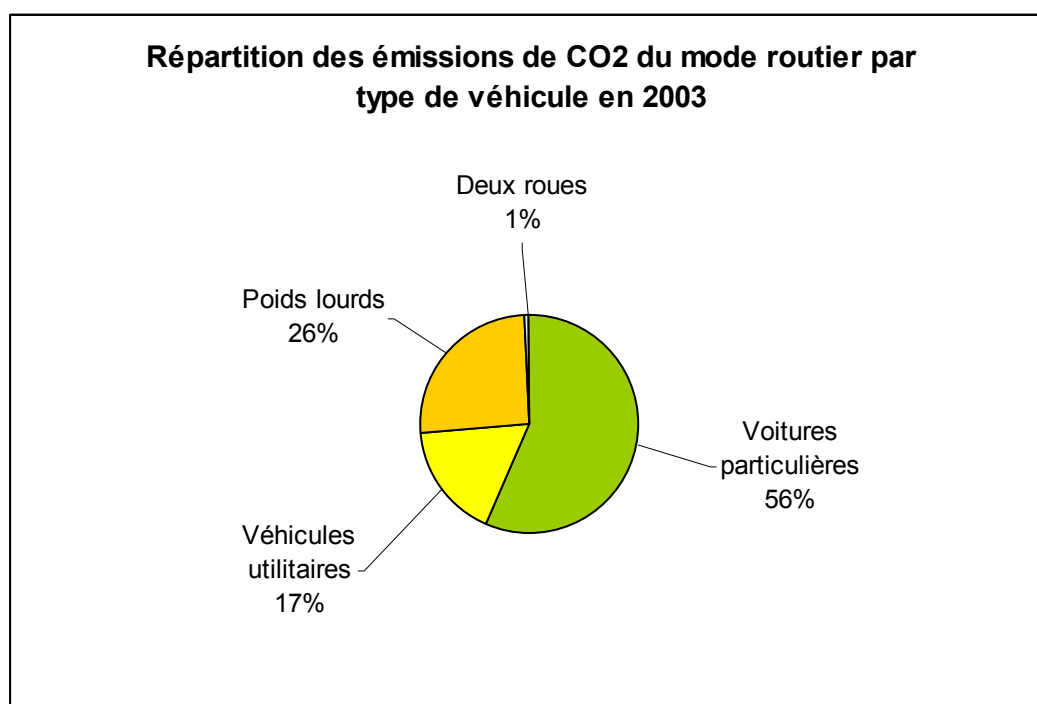
Tableau 11 : Emissions de CO₂ des transports en 2003

	Emissions	%
route	129,4	94,0
fer	0,7	0,5
fluvial	2,2	1,6
maritime	1,5	1,1
aérien	3,8	2,8
Total transport	137,6	100,0

Sources : CITEPA (2005), p.143

La voiture particulière représente 56% des émissions liées au trafic routier, les VU (17%) et les poids lourds (26%), en 2003¹.

Figure 32 : Emissions du trafic routier en 2003



Source : CITEPA (2005), p. 143.

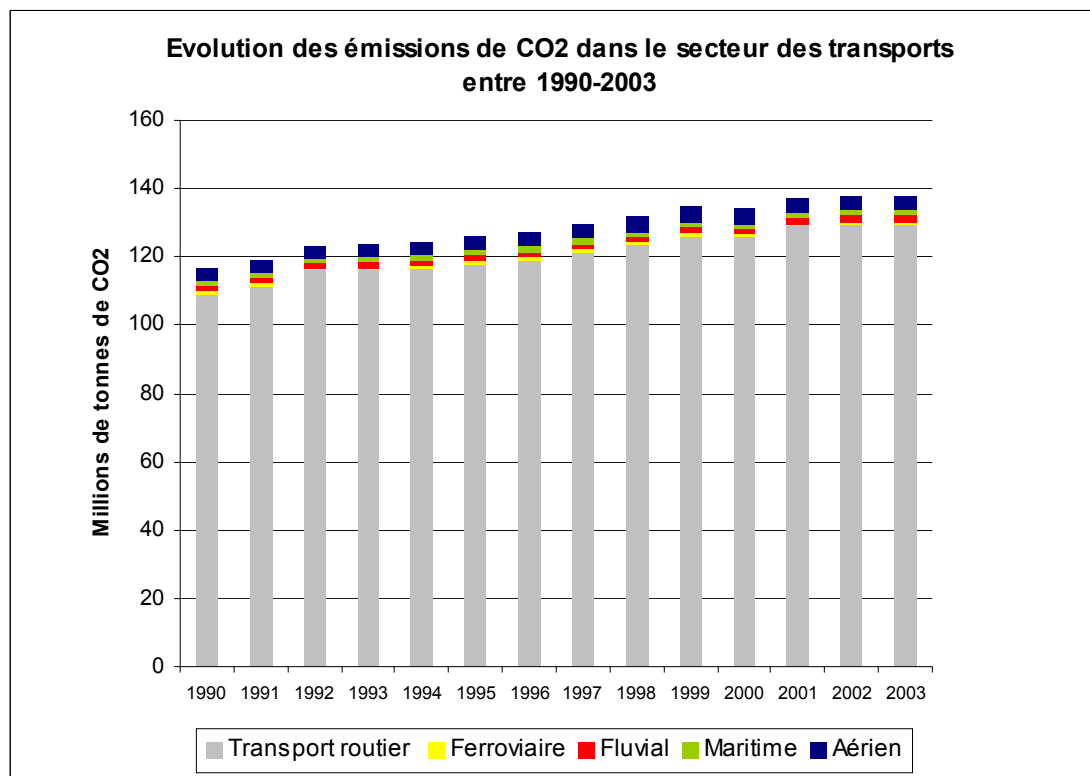
Si l'on considère à présent l'évolution des émissions entre 1990 et 2003 (Figure 33), on constate une stabilité de la structure de ces émissions. Le transport routier représente

¹ Ces chiffres globaux sont élaborés à partir des données CITEPA distinguant type de carburant et type de véhicule.

l'essentiel de la contribution des transports (autour de 94%). Les autres modes (ferroviaire, maritime, fluvial, aérien) restent stables (autour de 6 %).

Sur cette période, la croissance des émissions liées au seul mode routier est de l'ordre de 20%. L'aérien et le fluvial sont en forte croissance (respectivement 14 et 31%, passant, pour le fluvial, de 1,6 millions de tonnes à 2,1). Le ferroviaire voit ses émissions sur la période baisser de 30%².

Figure 33 : Evolution des émissions de CO₂ - secteur des transports (1990-2003)



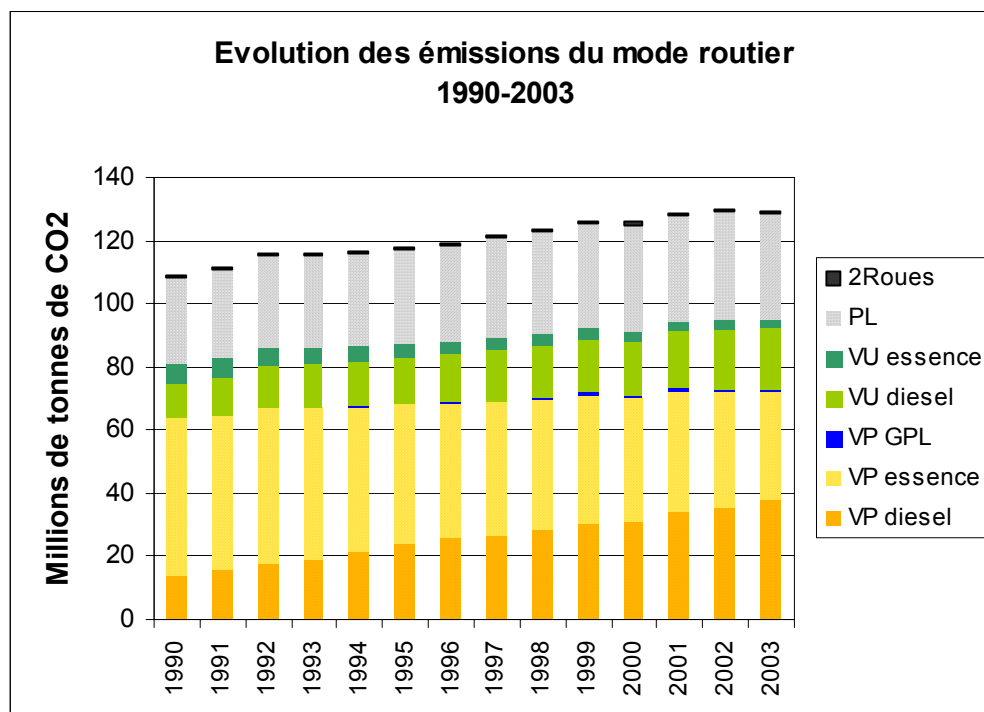
Source : CITEPA (2005), p.143

Si l'on considère plus spécifiquement le mode routier (cf. Figure 34), les VP connaissent une croissance de près de 14% entre 1990 et 2003. Les émissions des PL ont cru très fortement (croissance de plus de 34% de leurs émissions sur la même période). La part des VP décroît de près de 2 points (51,6% des émissions totales en 1990, contre près de 50% en 2003), alors que celle des PL croît de près de 3 points (de 21,9% des émissions totales à plus de 25%).

² Pour situer ces données dans le contexte des trafics, entre 1990 et 2002, le trafic voyageur SNCF a cru de +15% (sur la base des voyageurs.km, d'après Comptes des Transports en 2002, p.180) alors que le fret est resté stable sur la période (+0,6%). Alors que l'électricité représentait environ 50% de l'énergie de traction pour le mode ferroviaire en 1980, elle représente en 2001 près de 75% des consommations énergétiques totales de traction. Il est à noter que l'énergie électrique consommée sur le réseau ferroviaire français inclut les autres entreprises ferroviaires. Concernant le transport fluvial, la flotte sous pavillon français entre 1990 et 2002 est passée de 3078 bateaux à 1900 en 2002. Sur cette période le trafic a décliné de 4% (7.2 à 6.9 milliards de t.km). Les consommations énergétiques demeurent stables (0.06 millions de TEP) sur la décennie.

Les émissions des VP sont déterminées par l'évolution de la structure du parc qui montre une diésélisation croissante³, favorisée par la fiscalité touchant les carburants.

Figure 34 : Evolution des émissions de CO₂ dans le transport routier entre 1990 et 2003



Source : CITEPA, (2005), p.143

1.3.2 Consommations et émissions du transport routier : deux perspectives

Deux perspectives sont successivement abordées : l'entrée par « le parc automobile et son utilisation », l'entrée par les localisations.

1.3.2.1 Entrée par le parc automobile et son utilisation

Une première approche, globale, celle des Comptes Transports, permet de rapprocher un bilan global « parc-circulation-énergie ». D'autres approches sont nécessaires pour déceler des effets de structure du parc sur l'évolution des consommations énergétiques.

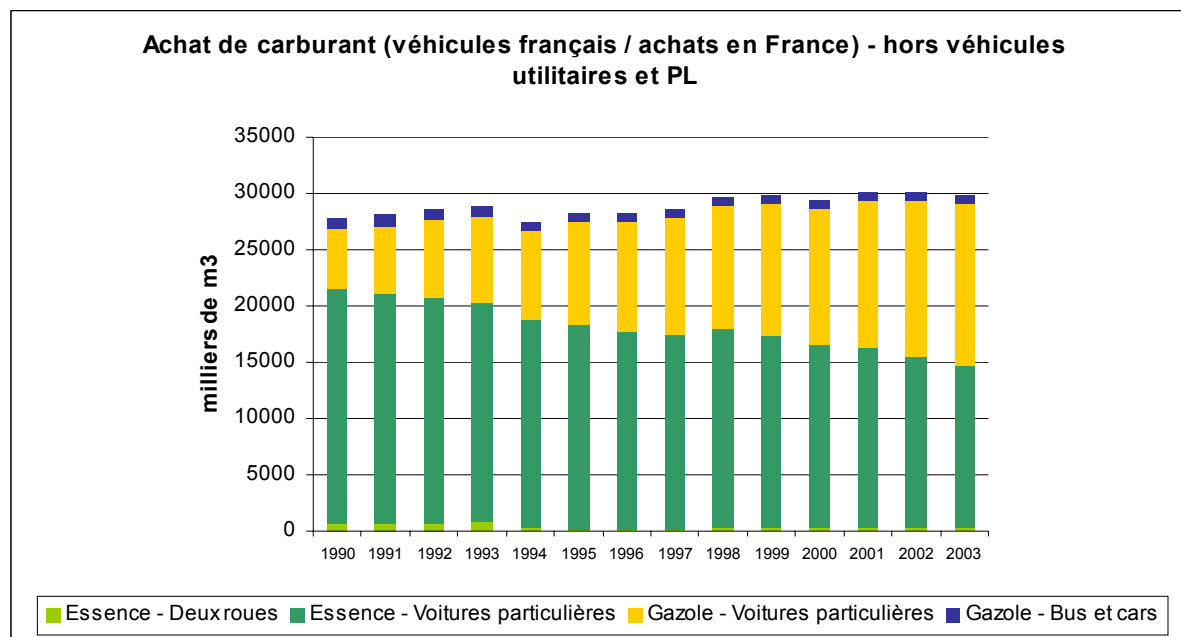
a) « Bilan parc-circulation-énergie » : la vision globale des comptes transports

Les Comptes Transport établissent un bilan global des circulations et des consommations unitaires à partir d'un certain nombre de données disponibles (cf. introduction) : évolution du parc (véhicules immatriculés en France) et kilométrage annuel moyen permettent d'évaluer

³ La quasi totalité du carbone contenu dans le carburant est transformé en CO₂ lors de la combustion. On calcule les émissions de CO₂ à partir de la consommation de carburant d'origine fossile, moyennant un coefficient de pondération tenant compte du contenu en carbone du carburant. Pour l'essence, le coefficient d'équivalence de CO₂ est de 2,401 kg CO₂/litre de carburant, et de 2,622 kg CO₂/litre pour le gazole.

les circulations (v-km). Ces circulations (tous véhicules), auxquelles sont affectées des consommations unitaires, permettent d'évaluer les consommations globales de carburant qui peuvent être contrôlées par les achats de carburants (livraisons+ achats aux frontières). La ventilation des consommations (au sens des achats) de carburant par type de véhicules est effectuée sur cette base.

Figure 35 : Achats de carburants par type de véhicule (hors PL et Véhicules utilitaires)



Source INSEE - CCTN, 2004, p.184

Les achats de carburants destinés au transport de personnes (représentent 30 millions de m3 (ils ont cru de +6% en 10 ans). Pour l'essentiel, ils sont liés à l'usage de la voiture particulière (environ 92% des achats de carburant liés au transport de personnes en 1990 et 96% en 2002). Parallèlement, l'évolution des consommations unitaires révèle une décroissance progressive depuis le début des années 90 (cf. Tableau 12).

Tableau 12 Consommations unitaires des voitures particulières par type de carburant⁴

	Tous carburants			Essence			Gazole		
	1992	1998	2003	1992	1998	2003	1992	1998	2003
L/100km	8,08	7,59	7,11	8,63	8,28	7,81	6,8	6,72	6,54

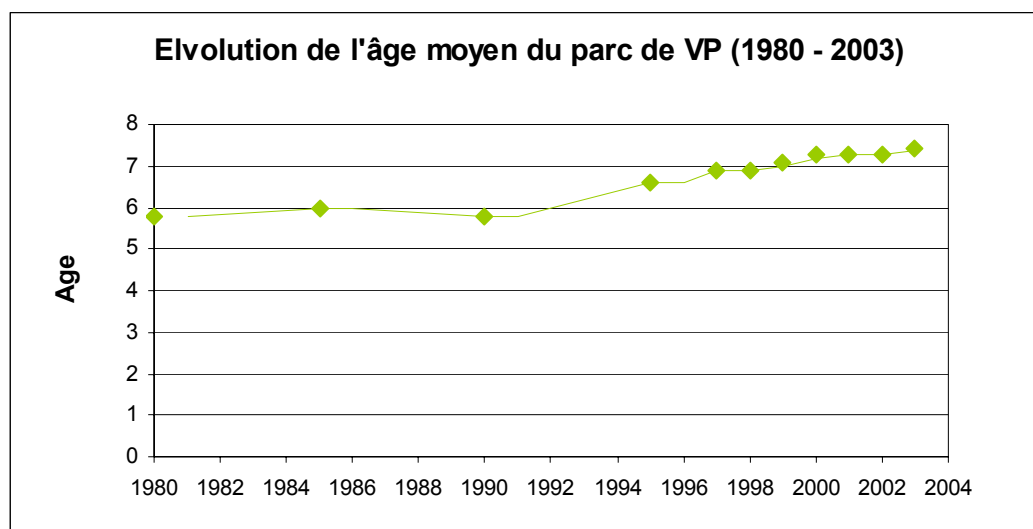
Source : panel ADEME-SECODIP in INSEE - CCTN, (2004) p.183, INSEE - CCTN (1997), p.136

⁴ 1998 marque une rupture de série liée à l'amélioration de la méthode de redressement de l'échantillon.

b) Effets de la structure du parc et de ses usages sur les consommations

L'étude ECODEV « Parc automobile et effet de serre »⁵ relève trois caractéristiques du parc de véhicules susceptibles d'avoir un impact sur les consommations et les émissions : la tendance au vieillissement du parc, sa diésélisation, l'évolution des gammes vers des véhicules plus lourds et plus puissants.

Figure 36 : Vieillissement du parc automobile français (1980 – 2003)



Source : CCFA (<http://www.ccfa.fr/tab/fu2.htm>)

Si le vieillissement du parc – moins de 6 ans en 1980 à près de 7,5 ans en 2003 (Figure 36) - tend à pousser les consommations unitaires à la hausse, alors que la diésélisation tend à les réduire (cf. Tableau 13), l'impact de ces variables sur les consommations globales n'est pas évident.

Tableau 13 : Consommations des voitures particulières par classes d'âge et type de carburant en 2001⁶

Age des véhicules	Tous carburants	Essence	Gazole
1 à 5 ans	7,3	7,8	6,8
6 à 10 ans	7,5	8,2	6,8
11 à 15 ans	7,7	8,6	6,5
plus de 15 ans	8,9	9,4	7,1
Tous âges	7,5	8,2	6,8

Source : panel ADEME-SECODIP in Energie et matière première, DGEMP Décembre 2002

⁵ Cahiers du CLIP « parc automobile et effet de serre », numéro 12, mars 2001.

⁶ 1998 marque une rupture de série liée à l'amélioration de la méthode de redressement de l'échantillon.

L'impact des distances parcourues sur les consommations (les véhicules plus anciens roulent moins, et les véhicules diesel roulent plus et plus longtemps que les véhicules essence), ainsi que l'effet de montée en gammes de véhicules conduisent à nuancer ce que l'observation des seules consommations unitaires semble révéler (cf. Tableau 12 et Tableau 13).

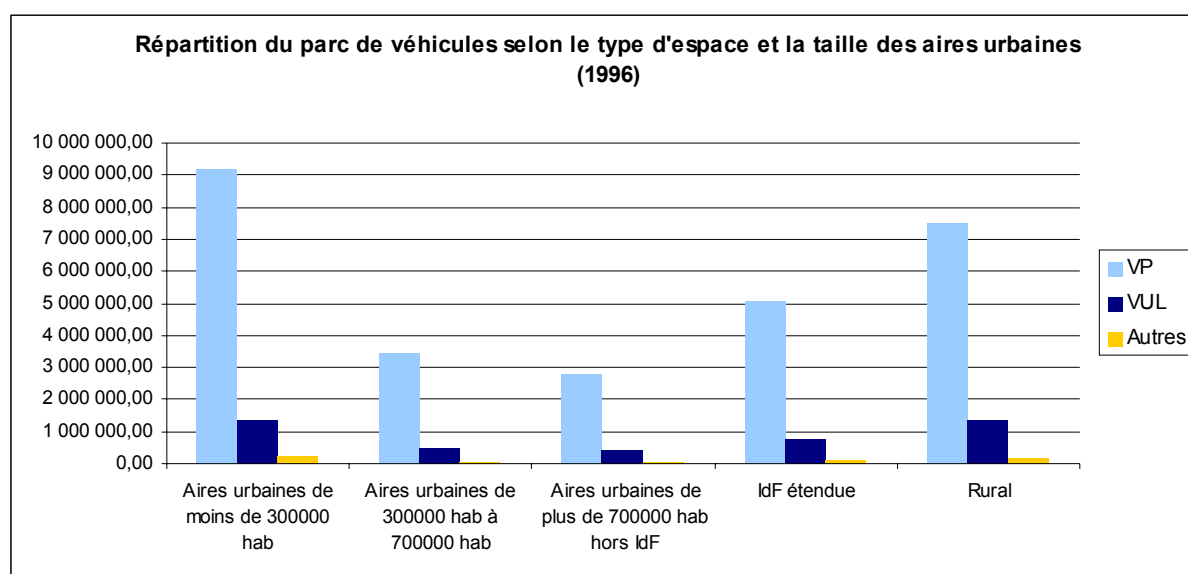
Ainsi, Hivert (2000), à partir des données recueillies sur le panel parc-auto-SOFRES, relève-t-il qu'en moyenne un véhicule diesel consomme annuellement 1,6 fois plus de carburant qu'un véhicule essence.

1.3.2.2 Entrée par les localisations

a) Répartition du parc et des trafics à partir du compte satellite du transport urbain et de la route

Le compte satellite du transport urbain et de la route (SES, 2000) permet de caractériser la répartition du parc - fortement corrélée à celle de la population-, selon les localisations, et d'estimer les trafics qui lui sont associés.

Figure 37 : Répartition du parc de véhicules selon la taille des aires urbaines (1996)



Source: SES compte satellite du transport urbain 2000, p.17

La répartition du parc (Figure 37) montre que les zones rurales comptent un peu plus du quart des véhicules du parc et 26% des seules VP alors que l'Ile de France seule approche les 20%.

Le bilan des circulations pour l'année 1996 s'élève à 482 milliards de véhicules-kilomètres. Le trafic se décompose de la façon suivante :

- plus de 76% est réalisé par les voitures particulières
- plus de 15% par les VUL
- 6% par les poids lourds
- 1,2% par les deux roues essence

- 0,5% par les autocars

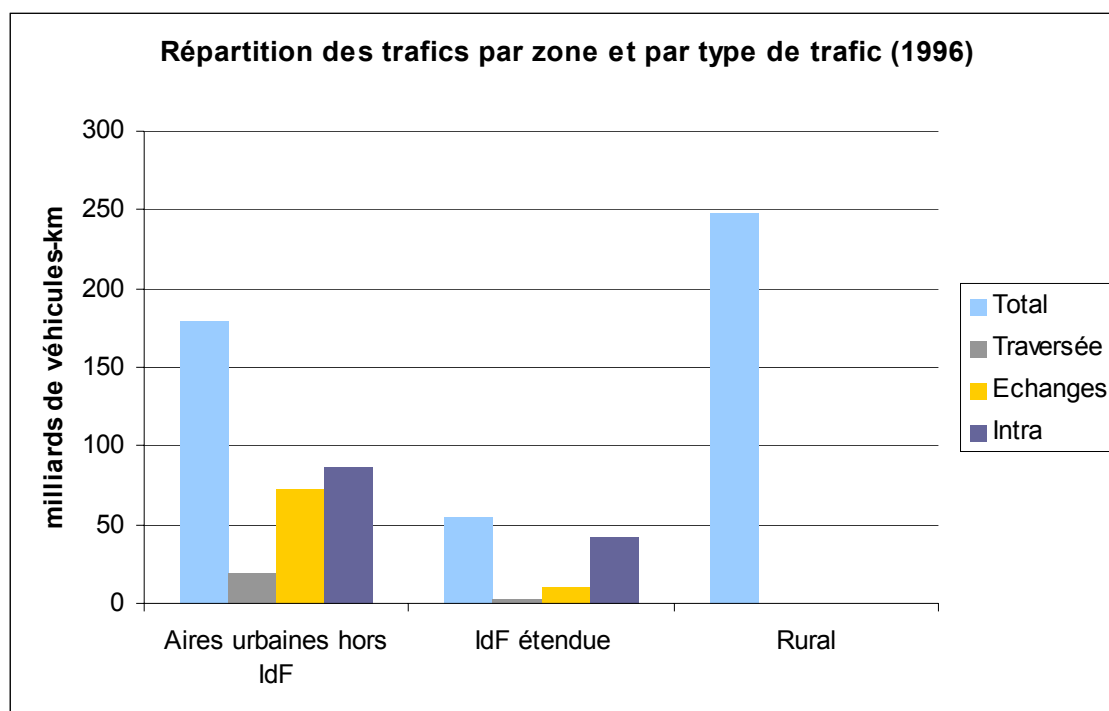
La répartition des trafics reconstituée pour l'année 1996, tous trafics confondus, révèle que la part des trafics effectués en zone rural et celle effectuée en urbain (au sens des aires urbaines) sont presque équivalentes (230 contre 250 milliards de véhicules-km, cf. Figure 38).

Si l'on décompose ces trafics selon leur nature (cf. Figure 38), on peut observer que la part des trafics intra urbains (dont l'origine et la destination se situent dans la même aire urbaine) représente l'essentiel des trafics en Ile-de-France (plus des 3/4). Pour les autres aires urbaines, ils représentent environ la moitié des trafics.

Les trafics d'échange, qui correspondent aux déplacements dont les origines et destinations sont différentes (aire urbaine A -> aire urbaine B ou zone rurale), représentent en revanche pour ces aires urbaines une part presque équivalente à celle du trafic intra-urbain.

L'effet de la taille de l'agglomération joue inversement pour ces deux types de trafic (SES, 2000).

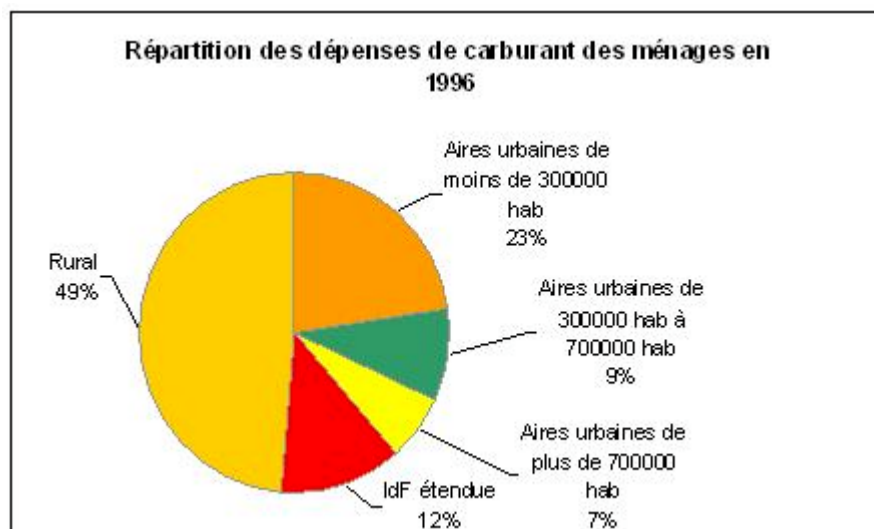
Figure 38 : Répartition des trafics par zone et par type de trafic



Source : SES 2000, p18-21

On peut approcher la répartition de la consommation de carburant des ménages à partir de la répartition de leurs dépenses de carburant selon leur lieu de circulation. Le compte satellite, qui en propose une estimation, relève la part dominante des espaces ruraux dans ces dépenses.

Figure 39 : Répartition des dépenses courantes des ménages en carburant selon le lieu de circulation



Sources : SES 2000, p.30

b) Localisations et usages du parc des véhicules

Les données issues de l'enquête parc auto SOFRES, permettent, sur la base de données déclaratives (km réalisé, consommation de carburant en l/100km), d'appréhender différentes variables qui déterminent les consommations de carburant (motorisation, kilométrage effectué). Ces variables peuvent être rattachées à des déterminants spatiaux (densité de la zone de résidence et type de tissu, variables corrélées). Les entrées par les ménages et par les véhicules sont successivement abordées.

Entrée par les ménages

Hivert (2000) souligne le double effet du revenu⁷ et de la localisation (i.e. de déterminants spatiaux appréhendés par les densités et types de tissus) dans l'explication des kilométrages parcourus, de la motorisation et des consommations de carburant.

⇒ Un effet localisation

Le taux de motorisation et le kilométrage parcouru par les ménages révèlent des différences marquées selon le type de tissu (soit le code zonal de la commune) et la densité de la commune de résidence.

⁷ Il s'agit ici du revenu du ménage.

Tableau 14 : Taux de motorisation selon la densité et le type de tissu de la commune de résidence (1998)

Densité France entière	VP/Menage
Moins de 100 hab/km2	1,42
101 à 500 hab/km2	1,331
501 à 1000 hab/km2	1,160
1001 à 5000 hab/km2	1,039
Plus de 5000 hab/km2	0,637

Source : Hivert (2000) Enquête Parcauto 1998, p.98

Type de tissu	VP/Menage
Ville-centre	0,895
Banlieue	1,145
Périurbain	1,386

Source : Hivert (2000) Enquête Parcauto 1998, p.98

Les taux de motorisation décroissent avec la densité (Tableau 14), dans des proportions allant du simple à plus du double entre les densités les plus faibles (moins de 100 hab/km2) et les plus élevées (plus de 5000 hab/km2). Cet ordre de grandeur vaut en Province (1,4 contre 0,7), et plus encore en Ile-de-France (1,4 pour les communes ayant moins de 500 hab/km2 et 0,62 pour les communes ayant plus de 5000 hab/km2).

Le kilométrage par ménage⁸ des résidents périurbains est près du double de celui des résidents de centre ville (Tableau 15). Si l'on considère les densités, les kilométrages effectués dans les communes les moins denses sont près de deux fois et demi supérieurs à ceux effectués dans les communes de forte densité.

Tableau 15 : Kilométrage moyen par ménage selon le type de tissu (1998)

Code zonal de la commune de résidence	KM/Ménage
Ville-centre	11 709
Banlieue	15 001
Périurbain	20 167
Rural profond	17 710

Source : Hivert (2000) Enquête Parcauto 1998, p.98

⁸ Il s'agit des kilométrages déclarés par les ménages (cumulés) et rapportés au nombre cumulé de ménages.

Tableau 16 : Kilométrage moyen par ménage selon la densité (1998)

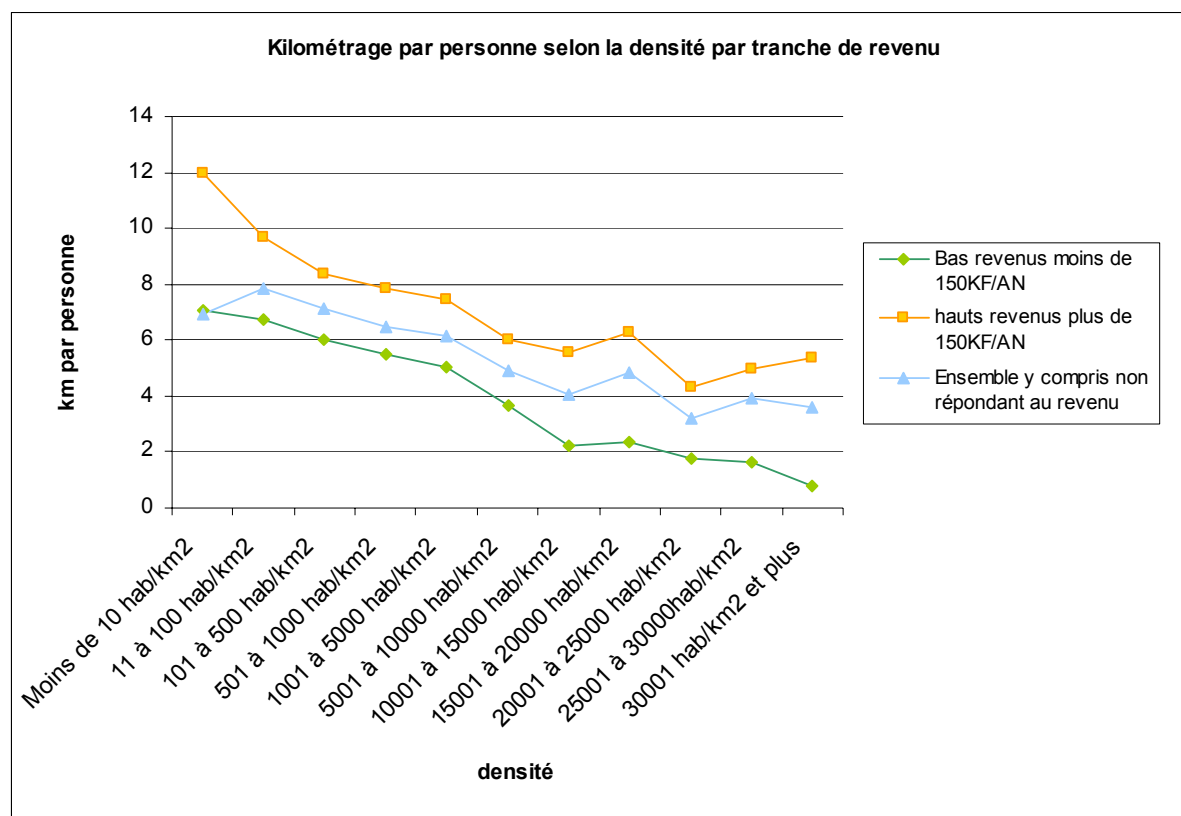
Densité France entière	KM/Ménage
Moins de 100 hab/km2	20 839
101 à 500 hab/km2	18 506
501 à 1000 hab/km2	15 680
1001 à 5000 hab/km2	13 340
Plus de 5000 hab/km2	8 386

Source : Hivert (2000) Enquête Parcauto 1998, p.98

⇒ Un effet revenu

Si l'on considère la densité de la zone de résidence, la décroissance des kilométrages parcourus par personne⁹ (hors effet de la taille du ménage sur les kilométrage) en fonction de la densité apparaît nettement dans le graphique ci-dessous. L'effet du revenu sur les kilométrages parcourus peut également être relevé.

Figure 40 : Kilométrage parcouru par an et par personne selon la classe de revenu



Source : Hivert (2000) Enquête Parcauto 1998, p.33

⁹ Le kilométrage est rapporté au nombre de personnes du foyer.

Entrée par les véhicules

Les kilométrages parcourus, consommations de carburant (unitaires et globales) sont croisés avec 3 types de variables spatiales (le type de tissu, les densités et la taille des agglomérations.)

Si l'on considère tout d'abord le type de tissu, les véhicules détenus par des ménages périurbains font en moyenne 1500 km de plus que les véhicules détenus par des ménages urbains (et près de 2000 km de plus sur les seuls déplacements domicile-travail).

Tableau 17 : Kilométrage et consommation moyens selon le code zonal de la commune de résidence

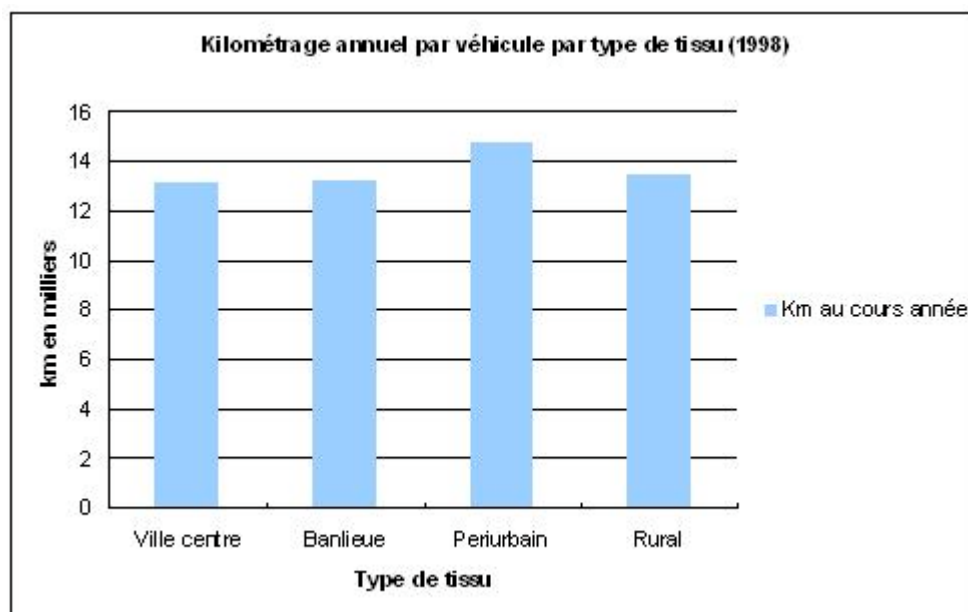
Code zonal de la commune de résidence	Kilométrage annuel moyen par voiture ¹⁰ km	Consommation totale annuelle moyenne litres
Ville-centre	13 113	984,14
Banlieue	13 178	1009,56
Périurbain	14 674	1061,61
Rural profond	13 391	934,71

Source : Hivert (2000) Enquête Parcauto 1998, p.106

La répartition des kilométrages selon le type de tissu révèle (Figure 41), un kilométrage parcouru sensiblement supérieur pour les véhicules détenus par les résidents périurbains, ce qui se traduit par une consommation de carburant supérieure (1061 litres de carburants pour le périurbain, contre 984 pour la ville centre, cf. Tableau 17).

¹⁰ Moyenne tenant compte des 0 km.

Figure 41 : Kilométrage et consommation de carburant moyens par véhicule en 1998



Source : Hivert (2000) *Enquête Parc Auto 1998*, p.106

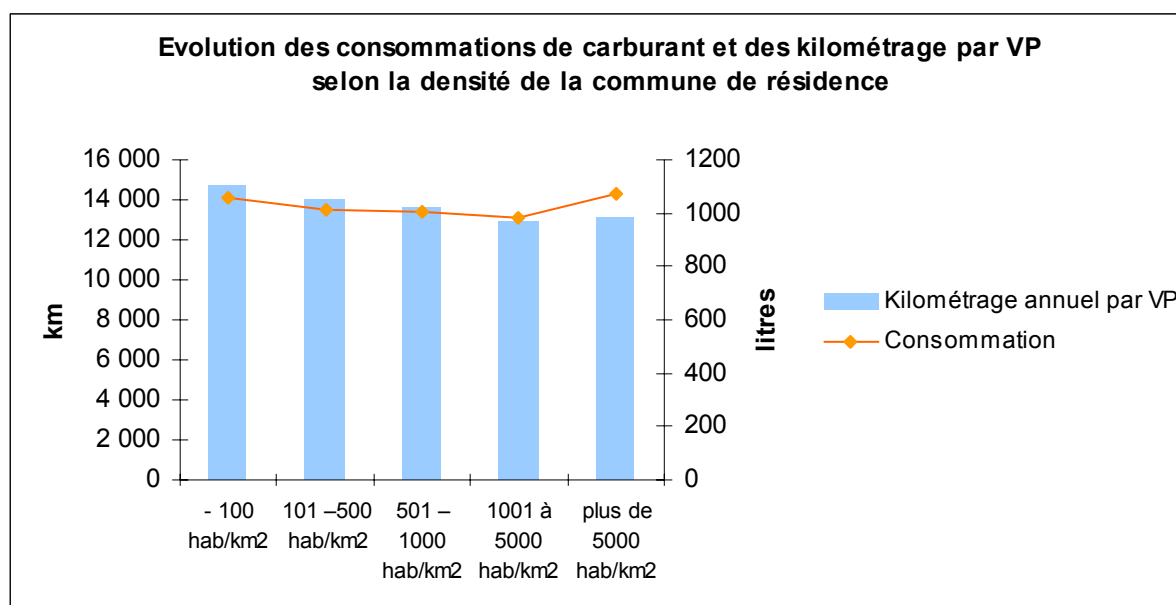
Si l'on considère la densité de la zone de résidence, on retrouve une décroissance des kilométrages et des consommations selon la densité des espaces de résidence. On observe cependant un pic de consommation pour les espaces les plus denses. Ce phénomène peut être expliqué par une croissance des consommations unitaires selon la densité. Ces fortes consommations peuvent être associées aux conditions de circulation. Elles peuvent également révéler un effet revenu et cylindrée des véhicules.

Tableau 18 : Kilométrage et consommation moyens selon la densité de la commune de résidence

Code zonal de la commune de résidence	Kilométrage annuel moyen par voiture km	Consommation totale annuelle moyenne litres
- 100 hab/km ²	14 667	1055,14
101 – 500 hab/km ²	13 965	1014,68
501 – 1000 hab/km ²	13 568	1006,04
1001 à 5000 hab/km ²	12 902	979,33
+5000 hab/km ²	13 131	1071,99

Source : Hivert (2000) *Enquête Parc Auto 1998*, p.106

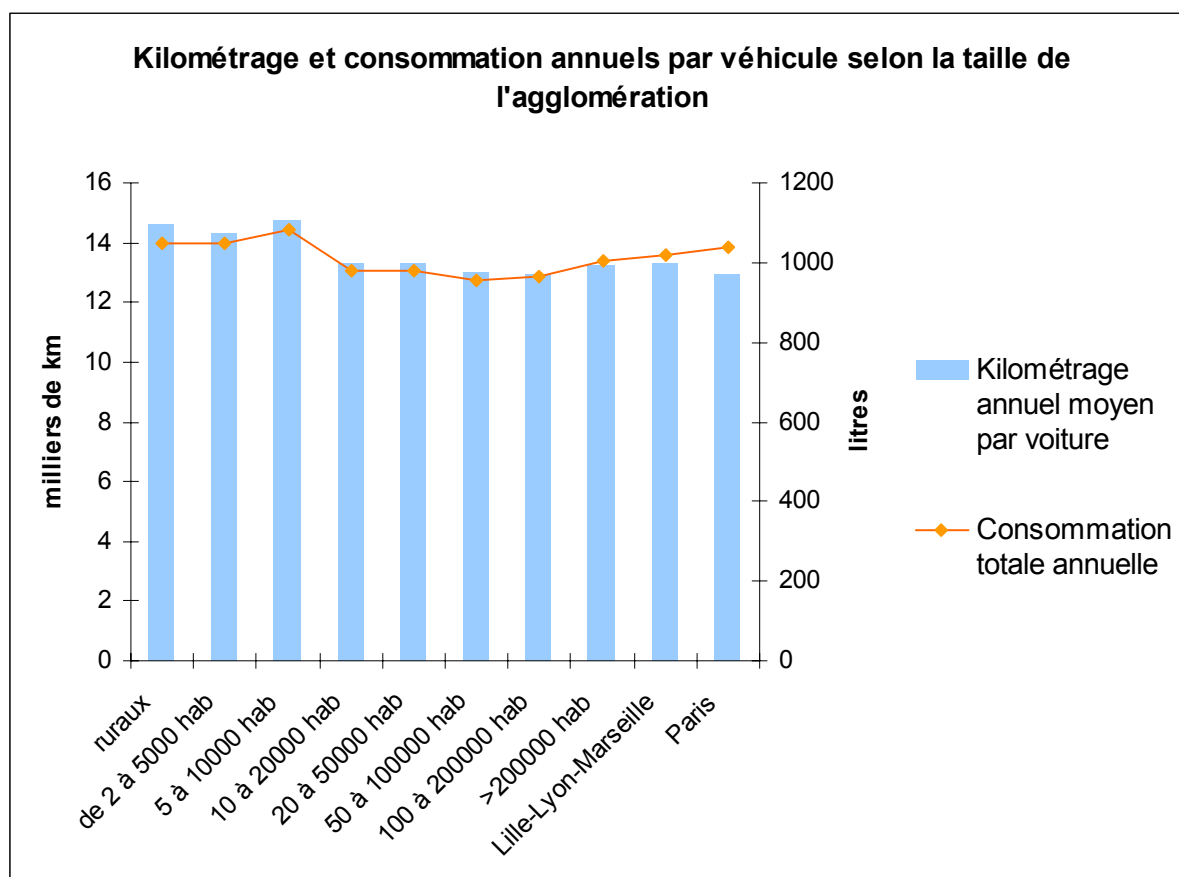
Figure 42 : Kilométrage annuel moyen parcouru par véhicule selon la densité de la commune de résidence



Source : Hivert (2000) Enquête Parc Auto 1998, p.106

Si l'on considère enfin la taille des agglomérations, on peut relever une croissance sensible des consommations unitaires pour les villes de plus de 200 000 habitants, ainsi que des écarts relatifs significatifs entre ces villes, Lyon-Lille-Marseille et Paris. Ces écarts révèlent, là encore, le décrochage entre kilométrage parcouru et consommations pour les villes les plus importantes (cf. Figure 43). Pour les villes de plus petite taille (moins de 10 000 habitants), les consommations élevées sont plus directement expliquées par les kilométrages parcourus, sensiblement plus élevés, pour des consommations unitaires moindres.

Figure 43 : Kilométrage et consommation annuels de carburant par véhicule selon la taille de l'agglomération



Source : Hivert (2000) *Enquête Parc Auto 1998*, p.106

2 Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas de l'habitat

L'objectif est d'élaborer une méthodologie permettant de calculer les dépenses énergétiques et les émissions de CO₂ liées au logement, pour un « logement type » situé dans une zone donnée. Cela suppose :

- d'appréhender les facteurs déterminant les consommations associées au logement compatibles avec la construction d'un modèle du parc de logements, qui permettra d'agréger les consommations des différents effectifs, selon l'échelle considérée (commune, département, région, zone climatique, nationale).
- d'aborder les consommations et émissions d'un point de vue « spatial » visant à caractériser des types de tissus auxquels des logements types sont associés et desquels des consommations et émissions sont déduites.

Plusieurs effets doivent être hiérarchisés, en particulier pour le chauffage, relatifs :

- au climat (zone climatique)
- à la typologie de logement retenue (Maison individuelle/Immeuble collectif) ;
- au type d'installation de chauffage (Chauffage central collectif, chauffage central individuel, appareil indépendant de chauffage)
- au rendement énergétique de l'installation ;
- au statut d'occupation (propriétaire, locataire).

2.1 Situer les enjeux de calcul : les consommations énergétiques

Il convient d'identifier et d'analyser les postes consommateurs d'énergie, selon le niveau des émissions de CO₂ qui leur sont associées dans le domaine de l'habitat.

2.1.1 Choix d'une unité de consommation

Selon les postes de consommation énergétiques, les besoins peuvent être estimés par logement, par personne, par unité de surface habitable (le mètre carré). En réalité, les consommations énergétiques ne sont que rarement exprimées par logement, hormis dans les outils réglementaires : la réglementation thermique (RT2000) est basée sur le calcul de la consommation globale exprimée en kWh d'énergie primaire par an, comprenant le chauffage, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les auxiliaires (de chauffage et de ventilation). Cette logique réglementaire rend malaisée la comparaison des performances entre logements, qui serait à l'inverse facilitée par une expression des exigences en kWh/m².

Les statistiques du logement utilisent de préférence l'unité de surface habitable pour exprimer les besoins de chauffage, puisque les surfaces moyennes des logements varient considérablement, en raison du nombre de pièces (cf. Tableau 19).

Tableau 19 : Taille des résidences principales (nombre de pièces et surface moyenne) en 2002

Nombre de pièces	Répartition (en %)	Surface moyenne (en m ²)
1 pièce	6,0	29
2 pièces	12,3	48
3 pièces	21,8	70
4 pièces	25,2	90
5 pièces	18,5	109
6 pièces et plus	16,2	147
Total / ensemble	100	90

Source : conditions du logement des ménages en 2002 – Lincot et Rieg (2003)

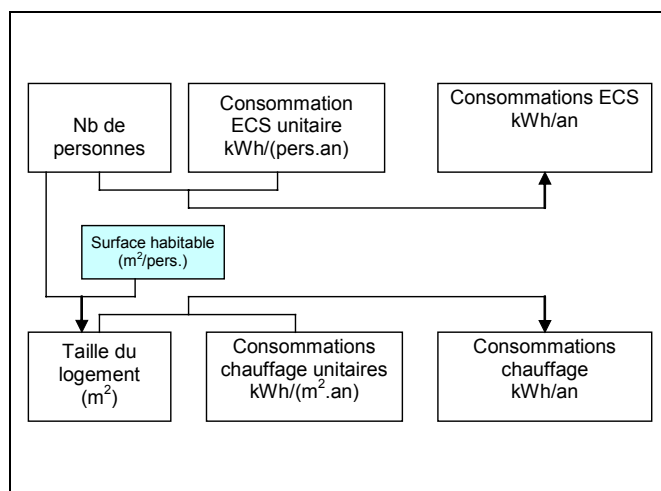
En moyenne du parc, pour l'année 2001, les consommations finales varient de 24 kWh/m² pour l'électricité spécifique à près de 180 kWh/m² pour le chauffage (cf. Tableau 20).

Tableau 20 : Répartition des consommations énergétiques (énergie finale) des résidences principales par usage en 2001 et par unité de surface

	kWh/m ²
Chauffage	179
ECS	24
Cuisson	14
Electricité spécifique	24
Total	241

Pour ce qui concerne l'eau chaude sanitaire, il paraît plus judicieux d'estimer les besoins annuels en kWh/personne. En effet, la consommation par mètre carré habitable ne présente pas d'évolution caractéristique entre 1973 et 2000, tandis qu'elle progresse uniformément de 511 à 855 kWh par personne et par an, au cours de la même période, traduisant ainsi la généralisation des équipements sanitaires : WC intérieur, douche ou baignoire (Traisnel et Maïzia (2004)).

Figure 44 : Procédure d'estimation des consommations d'énergie pour les deux postes du confort thermique (chauffage et ECS)



Une approche qui combinerait la taille du logement et le nombre de personnes serait nécessaire pour différencier les consommations selon le niveau de peuplement : par exemple pour l'ECS, une surconsommation par personne est en effet discernable dans le cas de logements sous peuplés, lorsque le ballon de stockage a été dimensionné pour la capacité maximale du logement. Les données disponibles sont à l'heure actuelle insuffisante pour distinguer l'effet de la taille du ménage sur les consommations d'énergie. Nous pourrions, dans un deuxième temps, tenir compte de facteurs correctifs, sur la base des travaux du Tyndall Center¹¹, qui relèvent une réduction des consommation d'électricité et de gaz par personne de plus de 60% entre une personne seule et une personne vivant au milieu d'un ménage de cinq personnes.

Tableau 21 : Effet de la taille du ménage sur les consommations d'énergie domestique par personne

(base 100 : logement d'une personne)

Nombre de personnes :	1	2	3	4	5
Energie					
Gaz	100	68	56	44	38
Electricité	100	65	48	40	36

Source : 40% House project, 2005, données 1996.

¹¹ University of Oxford, Environmental Change Institute, *Lower Carbon Futures, The 40% House Project*, feb. 2005.

2.1.2 Le parc de résidences principales

Les données disponibles caractérisant le logement sont multiples. Les différentes bases de données qui ont pu être consultées ont montré la difficulté de construire un parc de logement pertinent du point de vue de BETEL. Cette difficulté est liée à la multiplicité des modalités de découpage par catégorie de logement et au niveau d'agrégation des diverses sources statistiques. Pour mémoire, les bases de données présentent des statistiques d'entrées qu'il est souvent difficile de traduire dans le calcul du bilan énergétique mais qui pourront éventuellement enrichir le modèle mis en œuvre dans cette étude. Une exploitation des données économiques du logement serait notamment envisageable grâce aux traitements des données relatives :

- à la commercialisation des logements neufs par type et par région de 1985 à 2003 (base de l'ECLN) ;
- à la vente et au prix moyen des logements neufs et anciens de 1992 à 1999 (base EXISTAN) ;
- à la vente des logements neufs et anciens selon le type et le nombre de pièces (EXISTAN) ;
- à la vente des logements neufs ou anciens selon le type par région (EXISTAN)
- à l'indice de prix des travaux d'entretien-amélioration de logements (IPEA) – (disponible pour le 3e trimestre 2003).

Pour estimer l'évolution du logement neuf, la base de données SITADEL peut-être considérée comme la plus pertinente. En effet, cette dernière offre des informations sur le nombre de permis de construire délivrés par année, par type de construction et ce, à toutes les échelles (communale, régionale et nationale).

Dans le cadre du calcul BETEL, il a été convenu d'exploiter une seule base homogène considérée comme la plus complète et la plus fine. Il s'agit des données extraites du Recensement Général de la Population de 1999 (RGP 1999). Son traitement a permis de produire les tableaux suivants :

- le tableau des effectifs de résidences principales en fonction du type de construction et de l'époque de construction, à l'échelle communale et pour la France métropolitaine ;
- le tableau d'effectifs de résidences principales en fonction du type d'équipement et du combustible ou énergie associé, à l'échelle communale et pour la France métropolitaine ;
- le tableau donnant la localisation des communes de France métropolitaine en fonction de différents zonages (avec des indicateurs associés) et des découpages administratifs ;
- le vecteur de la surface moyenne des résidences principales, à l'échelle nationale, en fonction de l'époque de construction et du type de construction.

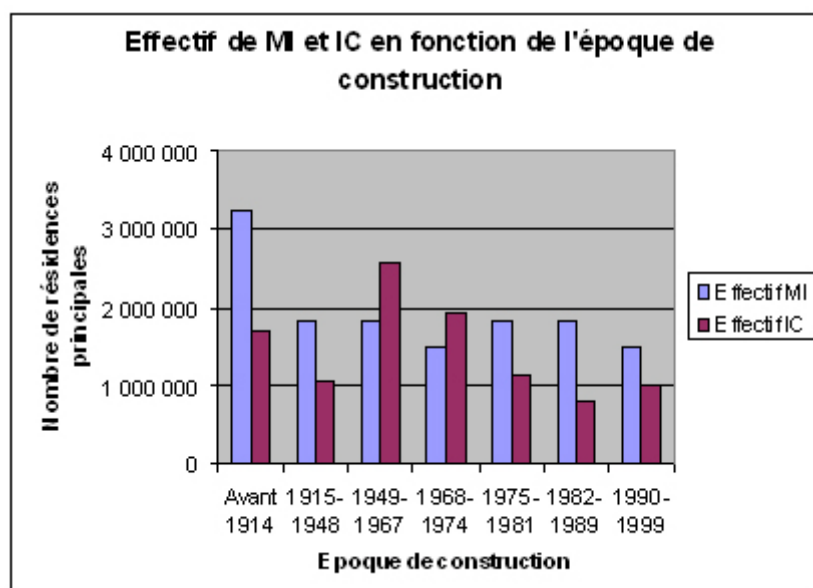
Tableau 22 : Variables retenues et leurs modalités

Variables retenues	Zone climatique	Type de logement	Période de construction	Equipement	Combustible
Modalités prises par la variables	H1 H2 H3	Maison individuelle (MI) Immeuble collectif (IC)	Avant 1915	Chauffage central collectif	gaz en réseau
			de 1915 à 1948		fioul
			de 1949 à 1967		électricité
			de 1968 à 1974	Chauffage central collectif	gaz (citerne, bouteille)
			de 1975 à 1981	Chauffage « tout électrique »	charbon, bois
			de 1982 à 1989		Ensemble
			de 1990 à 1999	Autres moyens de chauffage	Ensemble
			Après 1999		

Chacune de ces variables donne une indication entrant dans le calcul thermique et dans celui du facteur d'émissions de GES.

Une première analyse de la base RGP 1999 montre que le parc national et ses 24 millions de logements se composent de trois contingents approximativement égaux : un tiers de logements date d'avant guerre, un tiers a été construit pendant la Reconstruction et un dernier tiers est postérieur à 1974, date de la mise en place de la première réglementation thermique (RT, en 1975). D'un point de vue macroscopique, on constate que le parc est dominé par la maison individuelle (57% du parc). L'élan induit par la construction industrialisée des logements après la guerre inverse néanmoins cette proportion jusqu'à l'instauration de la première RT.

Figure 45 : Effectifs des maisons individuelles et immeubles collectifs selon la période de construction



En termes d'équipement, le parc se divise également en trois grandes parts. Un tiers des logements sont équipés de chauffage au gaz en réseau, un quart des logements sont chauffés

électriquement, le reste étant disputé par une grande diversité de type d'installation avec, toutefois, une prédominance du fioul. Le chauffage est principalement produit par un appareillage individuel, plus rarement par un chauffage central et quasiment jamais distribué par un réseau urbain. Ce constat s'explique notamment par la prédominance des maisons individuelles qui admettent difficilement une production centralisée de l'énergie destinée à leur chauffage.

2.1.3 Les consommations énergétiques du chauffage.

Deux approches doivent être menées conjointement, afin de confronter les résultats :

- une approche ascendante qui consiste à identifier les grandes catégories de logements, afin d'estimer les besoins énergétiques, les consommations puis les émissions, grâce à un moteur de calcul ;
- une approche descendante qui s'appuie sur les bilans annuels de consommations énergétiques du secteur, et les désagréments successives.

Un exemple de désagrégation est donné par l'Observatoire de l'Energie, pour l'année 2002, qui distingue six catégories selon l'âge du logement, son type et le mode de chauffage en immeuble collectif.

Pour leur chauffage, les maisons individuelles consomment plus d'énergie que les immeubles collectifs, en raison de leur taille, et de la discontinuité de la forme urbaine, qui augmente les surfaces de déperditions thermiques : les maisons individuelles représentent 56,6 % des effectifs de logements en 2002 pour près de 70% des consommations de chauffage (cf. Tableau 23).

Tableau 23 : Répartition des effectifs et des consommations d'énergie de chauffage dans le parc de résidences principales en 2002 (en %)

Période de construction	Variables	MI	IC avec CCC	IC sans CCC	Total
Ancien (avant 1975)	Effectif	34,7	15,2	14,8	64,7
	<i>Consommation</i>	<i>47,1</i>	<i>15,0</i>	<i>8,0</i>	<i>70,1</i>
Récent	Effectif	21,9	3,9	9,5	35,3
	<i>Consommation</i>	<i>22,7</i>	<i>3,7</i>	<i>3,5</i>	<i>29,9</i>
Total	Effectif	56,6	19,1	24,3	100
	<i>Consommation</i>	<i>69,8</i>	<i>18,7</i>	<i>11,5</i>	<i>100</i>

MI : maison individuelle ; IC : immeuble collectif ; CCC : Chauffage central collectif

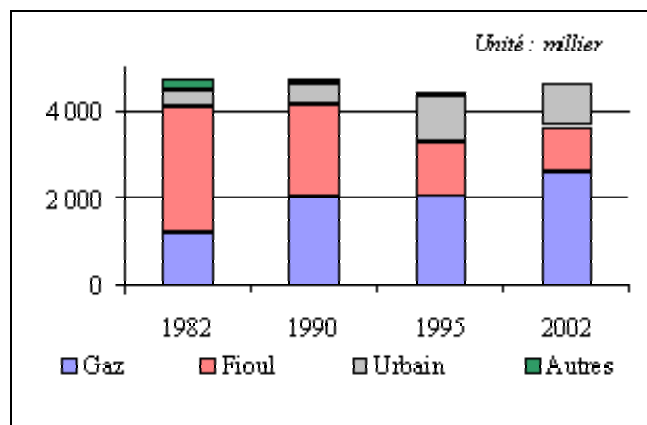
D'après : *20 ans de chauffage dans les résidences principales en France de 1982 à 2002*. Observatoire de l'énergie. Octobre 2004.

En surface, la différence est cependant moins nette : sur la base de surfaces moyennes de près de 110 m² et de 65 m² respectivement pour la maison individuelle et pour l'immeuble collectif, le total des surfaces habitables se répartit à 69% pour les maisons individuelles et à

31% pour les immeubles collectifs, ce qui s'écarte assez peu des parts dans la consommation de chauffage.

En 2002, plus de 90% des résidences principales sont équipées d'un chauffage central, contre 68% en 1982. Dans les immeubles, le nombre de logements chauffés par des équipements collectifs s'est stabilisé à 4,7 millions, tandis que le chauffage central individuel se développait (+ 3,7 millions de 1982 à 2002). Dans les équipements de chauffage central collectif, la part du gaz progresse constamment, au détriment du fioul (Figure 46).

Figure 46 : Energies de chauffage central collectif



Source : 20 ans de chauffage dans les résidences principales en France de 1982 à 2002. Observatoire de l'énergie. Octobre 2004. Parts en 2002 (en nombre de logements) : gaz 56%, fioul 21%, chauffage urbain 22%, autres 1%.

2.1.3.1 Le gaz et le fioul

Les placements en gaz dans les constructions neuves et la substitution des chaudières au fioul par des chaudières à gaz se poursuivent. Fin 2004, environ 9 000 communes, rassemblant plus de 75% de la population française, sont raccordées au gaz. Le fioul est en diminution tendancielle de -1,2% par an depuis 1990 dans le secteur résidentiel-tertiaire.

2.1.3.2 Le chauffage électrique

La difficulté d'agrégation des calculs unitaires, à l'échelle nationale, tient aux différences de confort assuré selon l'équipement de chauffage. Les logements de type « tout électrique » sont réputés consommer moitié moins d'énergie de chauffage qu'un logement équivalent chauffé au gaz. Le CEREN¹² explique cette différence par trois facteurs principaux :

- l'effet technique (meilleure isolation, meilleur rendement, souplesse d'utilisation) ;
- l'effet prix (par kWh final, en rapport de 2,6 à 1 environ avec le gaz, traduisant le passage en énergie primaire) ;

¹² « Pourquoi le chauffage électrique consomme-t-il si peu ? », *Energies et matières première* n°7, 1^{er} trimestre 1999.

- l'effet bois (notamment dans la maison individuelle, l'utilisation d'un insert permettant de réduire la facture d'électricité ; 47% des logements à chauffage électrique disposent d'un appoint bois).

Le taux de pénétration du chauffage électrique dans le neuf (à 90% sous forme de convecteur) a atteint son apogée en 1987, avant de décroître fortement au cours des années 1990. Le lancement du label Vivrélec, tentant de promouvoir les alternatives au convecteur (plafond radiant, plancher chauffant), a permis de maintenir les parts de marché. Celles-ci risquent de s'éroder dans le cadre de la RT2005, compte tenu des exigences qui seront fixées en énergie primaire, sauf pour la pompe à chaleur, qui représentait 10% des installations neuves en 2002 (60% pour les convecteurs, et 30% pour les systèmes rayonnants¹³).

Tableau 24 : Part de marché de l'électricité pour le chauffage des logements neufs

Année	1970	1972	1975	1978	1981	1984	1987	1991	1994	1995	1996	1997	1998	2000
En %	2	4	19	46	40	61	70	66	47	46	45	40	41	43

Source : AERE, Greenpeace, *Chauffage électrique en France*, nov. 2002

Dans le parc existant, les substitutions se poursuivent dans le chauffage intégré¹⁴ en immeuble collectif, mais les pertes de marché sont plus importantes dans les maisons individuelles et dans le chauffage divisé des immeubles collectifs.

Tableau 25 : Substitution par du chauffage électrique, en milliers de logements (parc existant)

Année	1981	1984	1987	1991	1994	1997	1998
Substitution (milliers)	97	139	185	100	122	-60	-75

Source : AERE, Greenpeace, *Chauffage électrique en France*, nov. 2002

2.1.3.3 Les appareils indépendants de chauffage

Les résidences principales sans chauffage central, soit 2,6 millions au total, appartiennent essentiellement à la catégorie des maisons individuelles (0,5 millions de maisons récentes, 1,8 millions de maisons anciennes), le nombre d'appartements sans chauffage central étant réduit à 0,3 million. Ces logements sont équipés principalement de trois modes de chauffage : cuisinières chauffantes, poêles, radiateurs.

Dans les immeubles collectifs sans chauffage central :

- 52% se chauffent avec un radiateur, électrique dans 96% des cas pour le neuf, et 53% des cas dans les immeubles anciens ;
- 24% avec un poêle au fioul ;

¹³ « Direct résidentiel » N°120, février 2002.

¹⁴ Le CEI (Chauffage Electrique Intégré) est compté dans les statistiques comme du chauffage central.

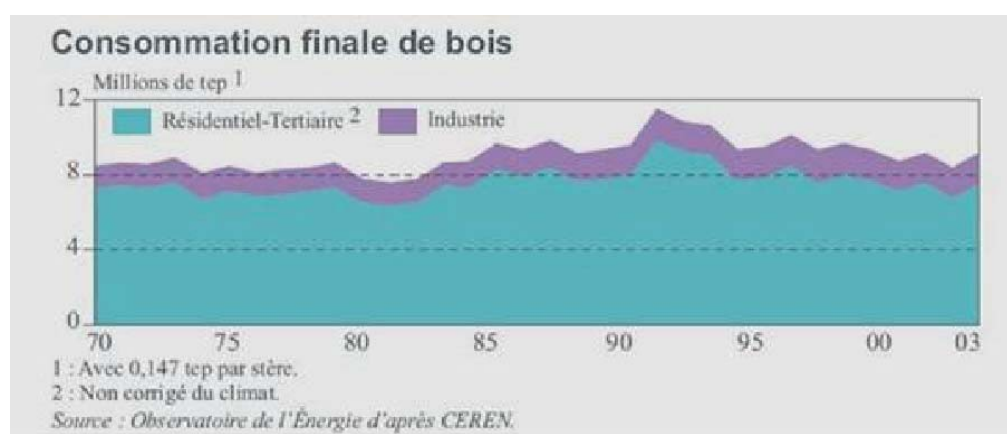
- 10% avec un poêle à bois.

Dans les maisons individuelles anciennes, les poêles, les cuisinières chauffantes, les radiateurs et les cheminées représentent respectivement 43%, 26%, 16% et 15% des modes de chauffage principaux. Dans les maisons récentes, les cheminées représentent 62 % des modes de chauffage. Sur l'ensemble des maisons anciennes et récentes, 52% utilisent le bois, 18% l'électricité, 16% le fioul (Source : *20 ans de chauffage dans les résidences principales en France de 1982 à 2002*. Observatoire de l'énergie. Octobre 2004).

2.1.3.4 Le bois énergie

La consommation de bois pour le chauffage des logements en 2003, estimée à 7,6 Mtep d'énergie finale, concerne 6 millions de logements. En supposant que cette consommation, s'appliquant en priorité aux résidences principales, assure la totalité des besoins de chauffage de maisons individuelles de 100 m² de surface habitable, la consommation unitaire d'établirait en moyenne à 147 kWh/m².an. A cet usage, il conviendrait d'ajouter le chauffage urbain, mais le bois y est encore peu valorisé.

Figure 47 : Consommation finale de bois



Source : Observatoire de l'Énergie d'après CEREN

Le potentiel de développement du bois énergie demeure important, car le prélèvement forestier annuel est largement inférieur à l'accroissement naturel de la forêt. Le prélèvement annuel total, toutes utilisations confondues, est d'environ 36 millions de m³, pour un accroissement biologique estimé en 2004 de 85 millions de m³.¹⁵

2.1.4 L'eau chaude sanitaire

En France métropolitaine, les conditions de logement s'améliorent, les équipements sanitaires accompagnant la demande de confort : des logements plus vastes accueillent plus volontiers les installations sanitaires, W.-C. à l'intérieur et chauffage central. En mars 1999, plus de

¹⁵ Rapport fait au nom de la commission des finances, de l'économie générale et du plan sur le projet de loi de finances pour 2005 (n° 1800), par M. Gilles CARREZ, rapporteur général, député. Annexe n° 10, agriculture, forêt.

quatre logements sur cinq étaient ainsi équipés, alors que le ratio n'était que de trois sur quatre en 1990 et demeurait inférieur à un sur deux en 1975¹⁶.

Le nombre de logements « sans confort », c'est-à-dire ne disposant pas des éléments : eau, W-C, et installation sanitaire, diminue rapidement : en 1999, 850.000 personnes vivaient dans des logements qui ne possédaient ni baignoire, ni douche, soit trois fois moins qu'en 1990.

Les besoins par personne peuvent être estimés par la méthode SOLO 2000 (ADEME-CSTB) à partir des données météorologiques du site (notamment la température de l'eau) : les besoins peuvent ainsi être évalués en moyenne à 850 kWh/personne/an en métropole¹⁷.

Tableau 26 : Estimation des besoins d'énergie (ECS) par personne et par an

En kWh/personne.an	Valeur mini	Valeur maxi	Moyenne
Méthode SOLO 2000 (ADEME-CSTB)	765 (Corse)	900 (Alsace)	850 (métropole)

La consommation d'énergie dépendra de l'équipement de production de l'eau chaude sanitaire. Le rendement global de conversion dans les chauffe-eau varie de 0,6 pour le fuel à 0,92 pour l'électricité. Dans ce cas, la consommation serait de 920 kWh/an (tableau 21). La consommation annuelle de référence serait néanmoins estimée à 936 kWh/personne, selon les projections CEREN/ENERDATA/ADEME (58,75 TWh en 2020 pour la totalité du parc).

Tableau 27 : Estimation des consommations d'énergie (ECS) par personne et par an

Energie	Gaz	Electricité
Rendement de distribution	0,92	0,92
Rendement de stockage	1	1
Rendement de génération	0,72	1
Rendement final	0,66	0,92
Consommation (kWh/an)	1280	920

(Sur la base de besoins estimés à 850 kWh/personne/an)

2.1.5 L'électricité spécifique

En 2000, les usages spécifiques d'électricité représentent 26 % des dépenses d'énergie des ménages métropolitains, contre à peine 20 % en 1984¹⁸. Le froid domestique en est une des

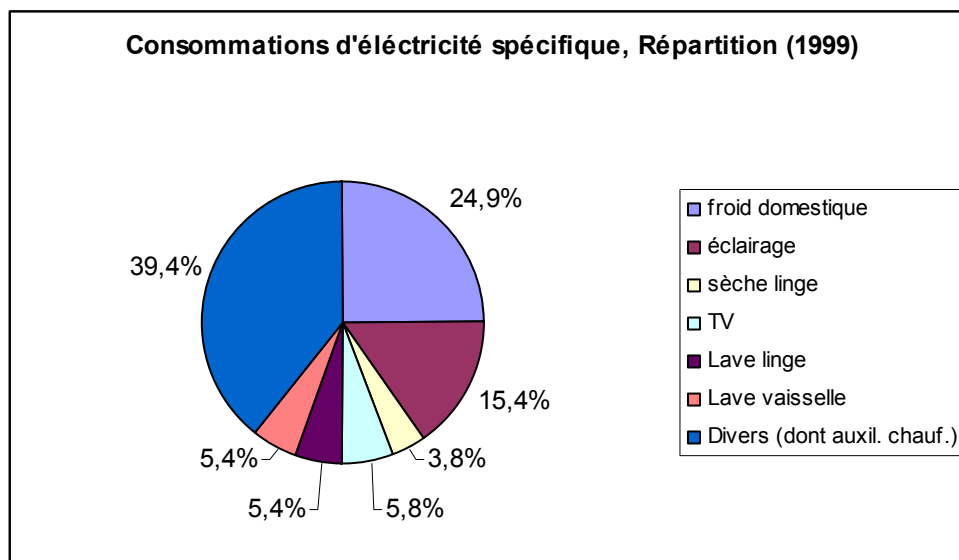
¹⁶ M. Chaleix, C. Madinier, « Des logements plus grands et plus confortables », *Insee Première* N° 750 - Novembre 2000.

¹⁷ Cf. Traisnel et Maïzia 2004.

¹⁸ P. RICAU, « Les dépenses d'énergie des ménages progressent de 5,4 % en 2000, sous l'effet de la flambée des prix », *Notes de synthèse du SES*, juillet-août 2002.

parts dominantes (25%, en moyenne du parc), suivi par l'éclairage (plus de 15%). Le poste « divers » contient les auxiliaires de chauffage (pompes, circulateurs, etc.) et de ventilation.

Figure 48 : Consommations d'électricité spécifique



Source : DGEMP, Observatoire de l'Energie, *l'énergie*, 2004.

En moyenne, mais pour les logements neufs, l'écart entre les postes de consommation apparaît moins net : l'électroménager peut, dans les logements neufs performants, représenter un poste de dépenses supérieur à celui du chauffage. Le label allemand « Passive Haus » propose également des niveaux de consommations annuelles de chauffage de 15 kWh/m², pour une consommation des autres postes cumulée à 27 kWh/m². Les potentiels de réduction sont donc importants. Nous exprimerons ces consommations sur une base forfaitaire par unité de surface, malgré les corrections qu'il serait nécessaire d'apporter en fonction de la taille du ménage.

Il conviendrait également de considérer la consommation d'électricité des services généraux et des parties communes dans les immeubles collectifs, relative à l'éclairage des circulations, des halls, des parcs de stationnement, aux ascenseurs, à la VMC, aux auxiliaires de chauffage, etc. A l'échelle nationale, elle est estimée à 7 TWh/an¹⁹.

2.1.6 La climatisation individuelle, une exigence croissante de confort

Le taux d'équipement en climatisation en Europe, dans le résidentiel, reste faible : il était inférieur, en moyenne, à 5% en 1997. Le secteur tertiaire est mieux équipé : 18% des 705 millions de mètres carrés étaient climatisés en France en 1995, pour une consommation d'énergie totale destinée à la climatisation de 4 TWh environ .

La progression de la climatisation individuelle est cependant rapide. Le taux de croissance est de 15% par an en France depuis 1997, il a été bien supérieur au cours et à la suite de l'été

¹⁹ *Connaissance et maîtrise des consommations des usages de l'électricité dans le secteur résidentiel*, Rapport ENERTECH, 2002 (site : <http://sidler.club.fr/mde01.pdf>)

2003. Le marché était alors de l'ordre de 180.000 climatiseurs individuels par an. Près de 1,5 millions de logements étaient équipés en janvier 2000. Le confort d'été mécanisé tend à se généraliser, depuis le lieu de travail et le véhicule particulier, tous deux déjà mieux équipés que le logement.

L'étude EERAC²⁰ a permis d'évaluer le nombre moyen annuel d'heures d'utilisation par zone climatique et par secteur d'activité.

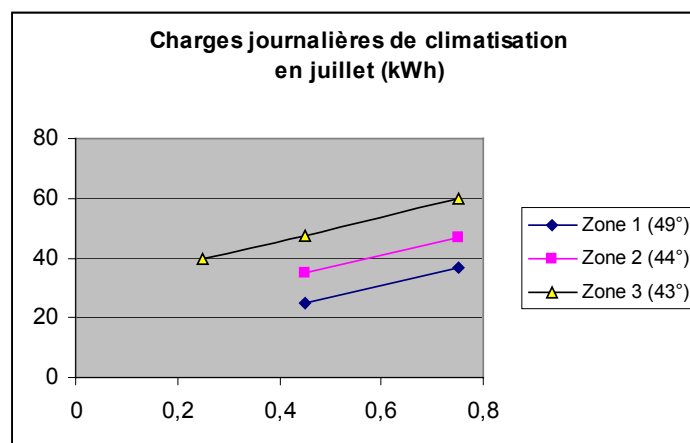
Tableau 28 : Estimation du nombre d'heures annuel de fonctionnement

	Commerces	Bureaux	Hôtels	Résidentiel
Carpentras	1414	1307	595	547
Limoges	790	726	314	212
Trappes				156

(Nombre d'heures annuel équivalent au fonctionnement à pleine charge)

La charge journalière de climatisation des logements individuels neufs se conformant à la réglementation thermique serait de 25 kWh (thermiques) pour la zone H1, et de 40 kWh pour la zone H3, dans les conditions climatiques définies pour juillet et pour une surface climatisée de 30 m² par logement.

Figure 49 : Charges de climatisation en fonction du facteur solaire des vitrages



Valeurs du facteur solaire : 0,75 (double vitrage sans protection) ; 0,45 (protection claire intérieure) ; 0,25 (protection extérieure)

Pour estimer la demande d'énergie de climatisation du logement moyen, on peut adopter les valeurs suivantes :

²⁰ " Energy Efficiency of Room Air-Conditioners ", EERAC, study for the Directorate General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities, Co-ordinator : J. ADNOT, mai 1999.

- EER (rapport entre l'énergie frigorifique récupérée et la puissance électrique appelée) = 3 ;
- Puissance frigorifique demandée de 4800 W pour la zone 1, à 6900 W pour la zone 3 (pour une surface climatisée de 30 m²) ;
- Nombre annuel d'heures d'utilisation de 156 pour la zone 1 à 547 pour la zone 3.

Sur cette base, la consommation moyenne du parc neuf s'élèverait à 4 kWh/m² (Tableau 29).

Tableau 29 : Consommations de climatisation selon la situation climatique

	H1	H2	H3
Nombre d'heures	156	212	547
Puissance (W)	4800	5700	6900
EER	3	3	3
Consommation électrique (kWh/an)	249,6	402,8	1.258,1

Estimations pour un logement neuf (RT2000) de 100 m², dont un tiers environ de la surface est climatisé

2.1.7 Les émissions unitaires retenues pour chaque poste de consommation

2.1.7.1 Les différents usages de l'électricité

En France, les émissions de CO₂ de l'électricité à la production varient fortement selon la période (heure et saison) considérée, en raison des parts très variables assurées par les parcs hydrauliques et nucléaires (sans émissions), ou le parc de centrales au charbon (de l'ordre de 900 gCO₂/kWh). Tandis que la moyenne européenne se situe à environ 340 gCO₂/kWh, le contenu en CO₂ de l'électricité évolue en France dans une fourchette de 60 à 120 gCO₂/kWh²¹. En séparant la production entre une fraction en base (environ 400 TWh annuels) et une fraction saisonnalisée (environ 100 TWh), le contenu CO₂ de chacune de ces deux composantes de la production s'établit respectivement à 40 et 180 gramme par kWh livré à l'utilisateur final. Pour la consommation, un pourcentage de saisonnalisation a été affecté à chaque usage (par exemple de 100% au chauffage, de 0% pour l'eau chaude sanitaire), ce qui permet d'estimer par convention le contenu en CO₂ de chacun de ces usages (cf. Tableau 30).

²¹ Cf. *Note de cadrage sur le contenu CO₂ du kWh par usage en France*, ADEME, 14 janvier 2005.

Tableau 30 : Indicateurs de contenu en CO₂ de l'électricité consommée en France

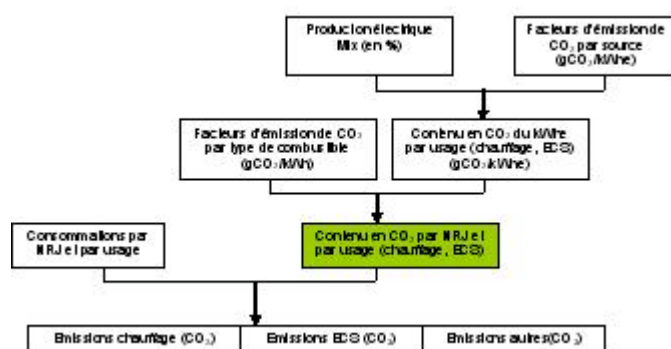
Usage	valeur moyenne (en g de CO ₂ /kWh)
Chauffage + pompes de circ.	180
éclairage résidentiel	116
éclairage tertiaire	80
éclairage public et industriel	109
usages résidentiels : cuisson	82
usages résidentiels : lavage	79
usages résidentiels : produits bruns	62
usages tertiaires : autres	52
usages résidentiels : ECS	40

Source : ADEME (2005)

2.1.7.2 Le chauffage et l'eau chaude sanitaire

Les émissions de CO₂ liées aux différents usages peuvent être déduites des consommations selon les usages et les sources d'énergie, ainsi que des facteurs d'émissions unitaires (en gCO₂/kWh). Si les conventions concernant les énergies fossiles sont relativement stables, la situation particulière de la production de l'énergie électrique nécessite une procédure en amont. Les différents scénarios conduisent à des facteurs d'émission moyens variant selon la part accordée au nucléaire et aux énergies renouvelables. Il est en revanche plus délicat de différencier les émissions selon les usages pour tout type de scénario de production électrique.

Figure 50 : Procédure simplifiée d'estimation des émissions par usage



Les émissions de CO₂ liées au « chauffage » sont déduites des parts de marché des différentes sources énergétiques consommées. Pour les parts de marché constatées en 2000, le contenu en

CO₂ du kWh moyen est de 184 gCO₂/kWh, proche de la valeur attachée au chauffage électrique.

Tableau 31 : Emissions de CO₂ dues au chauffage en 2000 par source d'énergie

	CMS	Fioul	Gaz	GPL	Electricité	Bois	Total
Parts de marché (en %)	4,9	27,2	34,1	1	10,5	22,3	100
Emissions gCO ₂ /kWh final	360	276	202	227	180	7	184 (moyenne)

Source : Traisnel et Maizia (2004)

Les facteurs unitaires doivent encore être calés sur l'ensemble des sources disponibles, les valeurs proposées par le Réseau Action Climat étant légèrement différentes.

Tableau 32 Facteurs unitaires d'émissions proposés par le RAC

chauffage	unité	pouvoir calorifique [kWh]	émissions de CO ₂ [gCO ₂ /kWh]
gaz naturel	1 m ³	10,0	280
propane/butane	1 kg	12,9	300
Fuel	1l	9,7	310
Houille	1 kg	8,7	360
Chauffage urbain	1 MWh	1000,0	300

Source : Réseau Action Climat, 26 juillet 2002

Une démarche similaire appliquée à l'ECS (eau chaude sanitaire) conduit à une valeur moyenne de 144 gCO₂/kWh, éloignée de la valeur attachée au chauffage électrique (40 gCO₂/kWh pour cet usage particulier).

Tableau 33 : Emissions de CO₂ dues à l'eau chaude sanitaire en 2000 par source d'énergie

	CMS	Fioul	Gaz	GPL	Electricité	Bois	Total
Parts de marché ECS	0	20	30	5	40	5	100
Emissions gCO ₂ /kWh	360	276	202	227	40	7	144 (moyenne)

2.2 Le cas particulier du chauffage

2.2.1 Le calcul des consommations de chauffage

Le calcul thermique est un calcul complexe. L'estimation des consommations d'énergie induites par le chauffage est un exercice ardu qui dépend de nombreuses variables délicates à fixer. Cette difficulté est principalement liée à la très forte variabilité des paramètres pris en compte dans le bilan thermique de chauffage, notamment des trois principales composantes du calcul thermique : le confort des habitants et le climat, le bâti et l'usage des équipements. La méthode généralement employée dans le calcul des consommations à des échelles macroscopiques, à l'image de l'exercice BETEL, est un calcul statique qui cherche à réduire les variations de ces composantes dans le temps. Cette méthode s'inspire fortement de la méthode des « besoins » instaurée pour la réglementation thermique (RT). Elle consiste à estimer les consommations d'énergie de chauffage à travers la conjonction de deux entités de calcul : d'une part, il s'agit d'exprimer quantitativement les besoins de chauffage ressentis par les usagers compte tenu des conditions climatiques (écarts entre les températures de confort - température de consigne, et les températures extérieures), des caractéristiques constructives de l'habitat, des apports énergétiques gratuits (dus à l'ensoleillement, l'occupation du logement, etc.) ; d'autre part de quantifier les consommations des divers équipements de chauffage destinés à répondre à ces besoins.

Le modèle de calcul BETEL :

Malgré la richesse de la typologie induite par la traduction de la base de données RGP 1999, le calcul du bilan de consommation produite par le chauffage est relativement simple. Il s'exprime par :

$$C_H = \sum_{i,j,k,l,m} e_{(i,j,k,l,m)} \cdot S_{(i,j,k,l,m)} \cdot C_{(i,j,k,l,m)}^U$$

avec :

$e_{(i,j,k,l,m)}$ l'effectif de logement de type thermique (i,j,k,l,m)

$S_{(i,j,k,l,m)}$ la surface moyenne du logement de type thermique (i,j,k,l,m) en m²

$C_{(i,j,k,l,m)}^U$ la consommation unitaire du logement de type thermique (i,j,k,l,m) en KWh/m²

La typologie thermique (i,j,k,l,m) correspond à :

i : la zone climatique

j : le type de logement

k : la période de construction

l : le type d'équipement

m : le type de combustible.

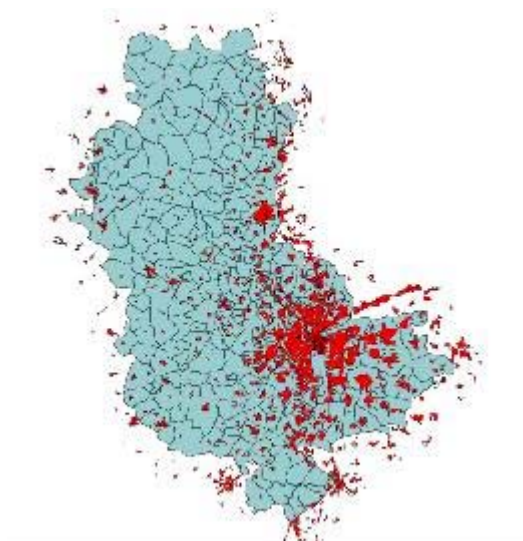
Les émissions totales dues au chauffage de l'habitat sont de la même forme :

$$C_H = \sum_{i,j,k,l,m} e_{(i,j,k,l,m)} \cdot S_{(i,j,k,l,m)} \cdot C_{(i,j,k,l,m)}^U \cdot \mathcal{E}_m$$

avec ε_m représentant le facteur d'émission du combustible m (gCO₂/KWh).

La compacité du bâtiment joue un rôle primordial dans le bilan thermique puisqu'elle permet, lorsqu'elle est assez élevée, de réduire substantiellement les déperditions de chaleur par l'enveloppe. La compacité est liée essentiellement au degré de contiguïté avec les logements mitoyens : elle relève donc de propriétés de forme urbaine notamment dans le cas de la maison individuelle (en effet, pour le logement collectif, la compacité est de fait élevée à cause de la disposition en étage des logements, ce qui réduit, en proportion, les impacts directs de la mitoyenneté). Cette propriété est relativement significative pour les tissus urbains denses surtout lorsque ceux-ci possèdent une forte proportion de maisons individuelles. Approcher cette dimension du bâti est plutôt difficile en termes quantitatifs. Les données sont quasi inexistantes dans ce domaine et ne peuvent être construites qu'à partir d'un croisement obtenu à partir de données spatialisées. C'est cette option qui a été adoptée dans le cadre de cette étude. Le croisement a été effectué à partir de la base de données RGP 1999, de la base spatialisée Corine Land Cover de l'IFEN et de BD Communes de l'IGN.

Figure 51 : Croisement de Corine Land Cover de l'IFEN et de BD Communes de l'IGN appliqué au département du Rhône



Un traitement sur ces deux dernières bases a permis d'estimer la surface occupée dans une unité d'analyse (la commune, le département, etc.) par les trois types de tissu considérés comme déterminants dans la définition de la contiguïté : les tissus continus, les tissus discontinus et la surface communale artificialisée (cf. Figure 51). D'après ces estimations, le tissu urbain continu ne représente qu'environ 2% de la surface artificialisée contre près de 75% pour le tissu discontinu (il faut préciser toutefois que le protocole de mesure institué par l'IFEN néglige de fait une bonne part de l'artificialisation du sol, notamment par l'élimination des surfaces artificielles inférieures à 25 ha).

La littérature relative à l'analyse de la forme urbaine (les analyses typomorphologiques) démontrent unanimement qu'un bâtiment a une forte propension à être compact d'autant qu'il est ancien et qu'il a de forte chance d'appartenir à un tissu continu. Cette propension est, toutes choses égales par ailleurs, plus élevée pour un immeuble collectif que pour une maison individuelle. Elle peut ainsi être traduite, d'un point de vue formel, par la relation qu'elle entretient avec le taux de continuité du tissu, le taux de discontinuité (tous deux estimés à

l'échelle de l'unité d'analyse) et la période de construction. Cette relation peut être exprimée par deux types de règles expertes :

- D'une part, à travers une règle pour les bâtiments à forte propension de compacité selon la date de construction, soit l'équation :

$$\rho_c = -e^{-(\alpha\tau_c + \beta\tau_D)} + 1 \text{ avec } \tau_c + \tau_D \leq 1$$

- D'autre part, à travers une règle pour les bâtiments à faible propension, soit :

$$\rho_c = e^{(\alpha\tau_c + \beta\tau_D)} - 1 \text{ avec } \tau_c + \tau_D \leq 1$$

τ_c : représentant le taux de continuité du tissu urbain dans l'unité d'analyse (ce taux est égal au rapport entre la surface de tissu continu et la surface artificialisée)

τ_D : représentant le taux de discontinuité du tissu urbain (il représente le rapport entre la surface de tissu discontinu et la surface artificialisée).

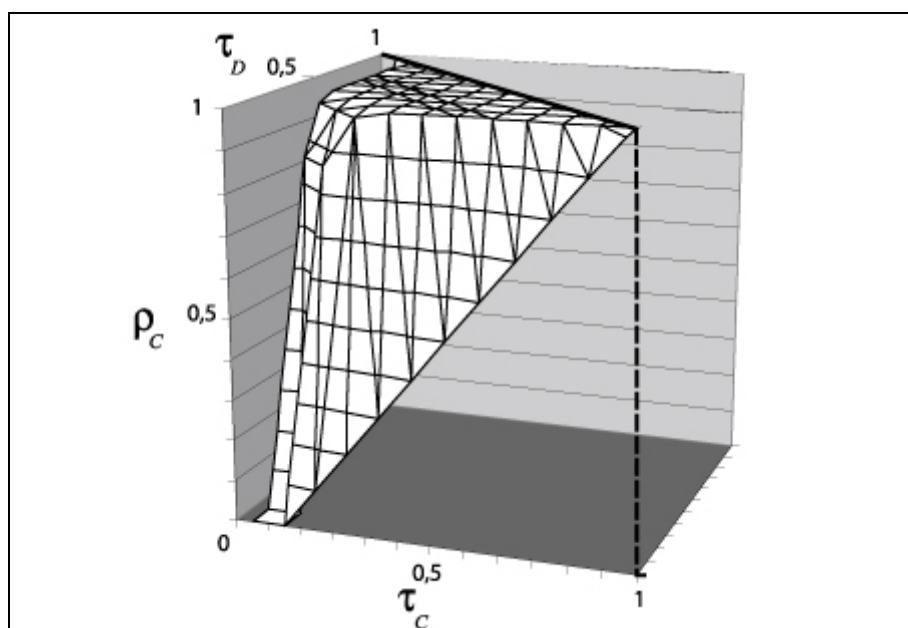
α et β dépendant de la période de construction, ces paramètres étant d'autant plus élevés que les logements sont anciens.

Les paramètres α et β prennent les valeurs suivantes (cf. Tableau 34).

Tableau 34 : Valeur des paramètres α et β selon la période de construction et le type de logement

	Immeubles collectifs		Maisons individuelles	
Période de construction	α	β	α	β
avant 1915	20	20	20	20
1915-48	15	4	15	4
1949-67	10	2	10	2
1968-74	0,5	0,1	0,5	0,1
1975-81	0,6	0,2	0,6	0,1
1982-89	0,7	0,3	0,7	0,1
après 1989	0,7	0,3	0,7	0,1

Figure 52 : Propension de compacité des bâtiments antérieurs à 1915 en fonction des taux de continuité et de discontinuité des tissus urbains



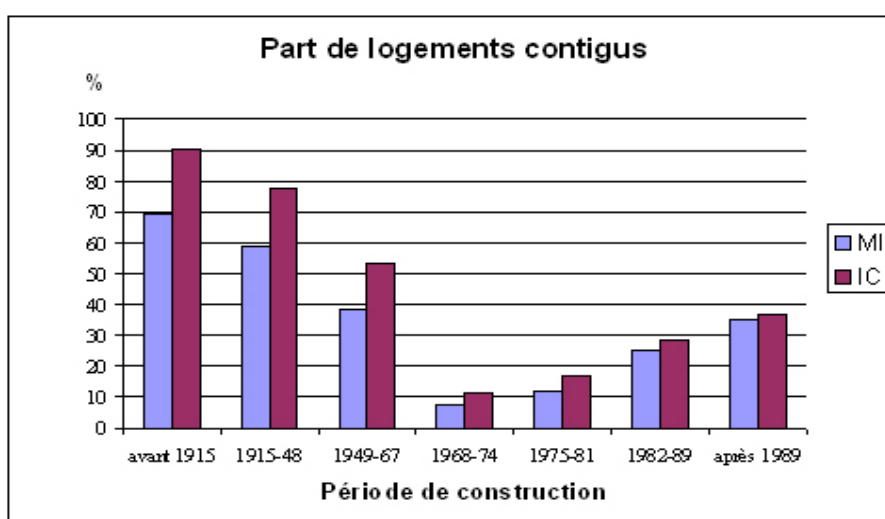
La probabilité moyenne par période de construction appliquée sur le parc de logement national donne le tableau suivant (Tableau 35).

Tableau 35 : Valeur de ρ (Propension d'un bâtiment à être compact) selon la période de construction

période	avant 1915	1915-48	1949-67	1968-74	1975-81	1982-89	après 1989
ρ	0,51	0,37	0,23	0,06	0,09	0,19	0,27

Traduite en effectifs, cette méthode donne une distribution très contrastée selon les périodes de construction (Figure 53).

Figure 53 : Part des logements contigus selon la période de construction



2.2.2 Principaux facteurs explicatifs des consommations du chauffage

De nombreux paramètres, déjà évoqués, interviennent dans l'estimation des consommations d'énergie de chauffage :

- La période de construction (impact en termes d'âge du parc), qui se caractérise par une certaine technologie du bâti (impact des matériaux d'enveloppe utilisés et de la réglementation thermique en vigueur à la construction) ;
- La surface du logement (impact en termes de besoins énergétiques) ;
- Le type de logement, résumé au deux catégories de la maison individuelle ou de l'habitat collectif (impact du degré de contiguïté des parois chauffées) ;
- La zone climatique (impact sur le type de construction et les besoins de chauffage)

Les fonctions de calcul des émissions unitaires de chauffage nécessitent de connaître les besoins, ainsi que le mode de chauffage et l'énergie utilisée.

2.2.2.1 Les besoins en énergie de chauffage : bases de calcul

Le calcul est basé sur la méthode des besoins de chauffage par logement, soit BV.DH en KWh/an : le coefficient BV, en W/K intègre la part récupérable des apports internes et des apports solaires directs, qui entre en réduction des déperditions exprimées par GV (cf. encadré) ; DH représente les degrés par heure, base 18°.

Les besoins, qui dépendent de la zone climatique, sont estimés à partir des éléments suivants :

- déperditions thermiques par l'enveloppe, qui dépendent des surfaces de parois extérieures, de la part des vitrages, des performances thermiques des parois opaques et vitrages (coefficient U) ;
- apports solaires ;
- apports internes ;

Les déperditions thermiques par l'enveloppe d'un bâtiment (toiture, plancher, parois verticales vitrées et opaques) GV_d , en (W/K), se décrivent par l'expression :

$$GV_d = \sum_i [Ko_i (1 - v_i) + v_i Kv_i] S_i$$

avec :

S_i : surface de la paroi d'indice i (m²)

v_i : proportion de vitrage de la paroi

Ko_i et Kv_i : conductances thermiques globales des parties opaque et vitrée de la paroi, incluant les ponts thermiques (U dans la nouvelle réglementation, en W/m².K).

L'expression des déperditions peut aussi s'écrire :

$$GV_d = (1/\sum_i S_i) \times (\sum_i K_i \times S_i) \times (\sum_i S_i)$$

Soit :

$$GV_d = V \times U_{moyen} \times S/V = V \times U_{moyen} \times 1/V^{1/3} \times S/V^{2/3}$$

Les déperditions dues à l'enveloppe par unité de volume sont ainsi proportionnelles à trois termes :

- le coefficient U moyen de l'enveloppe ;
- le coefficient d'échelle $1/V^{1/3}$ qui avantage les grands volumes ;
- le coefficient de forme ou de compacité, adimensionnel, $S/V^{2/3}$.

2.2.2.2 Effet de la performance du bâti

Les différentes étapes réglementaires, réduisant les niveaux acceptables de déperditions thermiques par l'enveloppe, ont différencié le mode de chauffage (l'électricité et les autres énergies), ainsi que le type de logement (individuel MI et collectif IC) et la zone climatique. Les valeurs moyennes pour ces deux catégories sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 36 : Performance du bâti

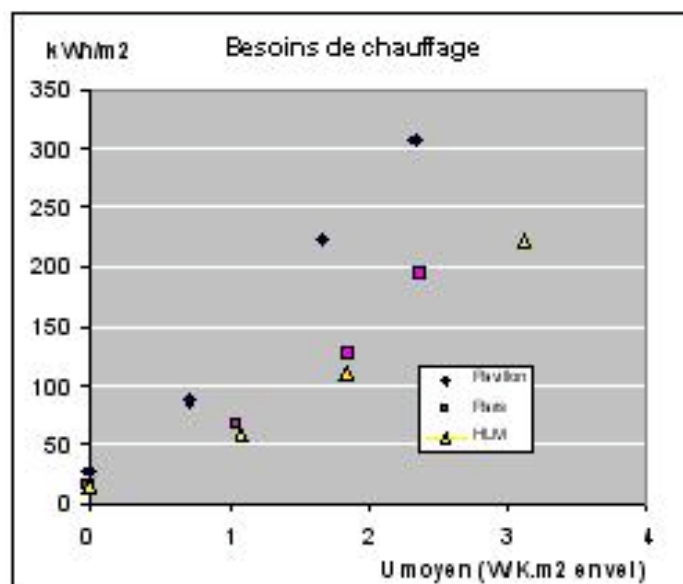
Zone climatique			H1	H2	H3		H1	H2	H3	
	Ancien (av. 75)	Rénov (°)	RT75	RT75	RT75	RT 81-89 (moyen) Chauffage électrique	RT 81-89 (moyen)	RT 81-89 (moyen)	RT 81-89 (moyen)	RT2000
toit	1,5	0,3	0,5	0,65	0,8	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
murs	1,75	1,75	0,7	0,8	0,95	0,6	0,65	0,7	0,8	0,4
plancher	0	0	0,6	0,75	0,95	0,4	0,5	0,55	0,6	0
portes	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	1,5	3,5	3,5	3,5	1,5
vitrage	4,6	2,45	4,8	4,8	4,8	2,5	3	3	3	2,25

(°) Rénovation partielle, toitures et vitrages.

2.2.2.3 Effet de la typologie et du niveau d'isolation de l'enveloppe

Pour une performance donnée de l'enveloppe, que traduit la valeur du coefficient U (niveau d'isolation moyen de l'enveloppe en W/K.m2), les besoins unitaires de chauffage de la maison individuelle sont pratiquement deux fois plus élevés que ceux du logement en immeuble collectif.

Figure 54 : Besoins comparés de chauffage



Pour chaque morphologie, les points représentent les trois niveaux de performance :

- « Neuf » : niveau réglementaire 2000, taux de renouvellement d'air de 0,5 volume/heure (ici $U < 1,09$)
 - « Réhabilité » : double vitrage, isolation thermique, taux de renouvellement d'air de 0,5 volume/heure (ici $1,66 < U < 1,87$)
 - « Ancien » : simple vitrage, taux de renouvellement d'air de 1 volume/heure (ici $2,32 < U$)
- (la valeur $U=0$ représente le cas théorique de déperditions nulles par l'enveloppe)

2.2.2.4 L'effet climatique

En réduisant le découpage climatique en Métropole aux trois zones H1, H2, H3, les données de température DH et les apports solaires sont données par le Tableau 37.

Tableau 37 : Données climatiques élémentaires pour le calcul des besoins selon la méthode BV

	H1	H2	H3
DH (milliers)	63	52	37
E (kWh/m2)	410	440	460

2.2.2.5 Les rendements globaux des équipements et les consommations

Les besoins donnent un niveau de consommation pour un système idéal, pour lesquels tous les rendements seraient égaux à 1.

En réalité, la consommation énergétique dépend de nombreux facteurs :

- le facteur d'intermittence I_o , qui permet de réduire la consommation ;
- le rendement d'émission R_e ;
- le rendement de régulation R_{ro} ;
- le rendement de distribution R_{dc} ;
- le rendement de génération R_{gc} .

La consommation finale peut ainsi s'échelonner de 1 à 2 voire 3 selon l'énergie utilisée et la distribution, ce qui désavantage les systèmes centralisés au fuel ou au charbon. Il faut également tenir compte du degré de vétusté des installations de chauffage : en 2001, seulement 51% des chaudières étaient en service depuis moins de 9 ans²².

2.3 Méthodologie de modélisation du parc de logements

2.3.1 Reconstituer le parc de logements

Les modèles de parc existants sont peu nombreux. Un premier modèle a été élaboré par EDF-GDF-CSTB, essentiellement pour le parc neuf.

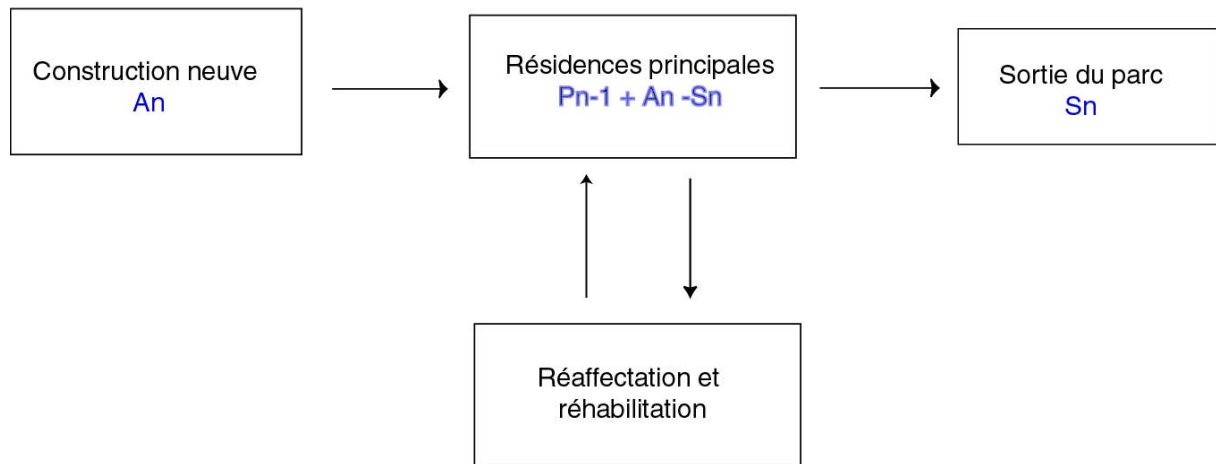
Le LTMU a de son côté élaboré un modèle simplifié permettant :

- De reconstituer les mouvements de construction neuve (entrée) et de sortie (par démolition ou autre affectation) dans le parc de logement (Figure 55).

²² Cf. *Note de l'Observatoire de l'énergie*. Octobre 2004.

- D'estimer la part, dans le parc, des logements anciens et réhabilités.

Figure 55 : les mouvements dans le parc de logements, procédure simplifiée



Afin de centrer la réflexion sur la demande d'énergie de chauffage, le parc était alors modélisé dans sa totalité, en surface (Figure 56). Une des hypothèses principales était fondée sur la poursuite de la croissance de la surface habitable par personne, ou de la surface moyenne d'un logement (Figure 57).

Figure 56 : Procédure de reconstitution des mouvements dans le parc

(Basée sur la connaissance de la taille du parc pour deux années données)

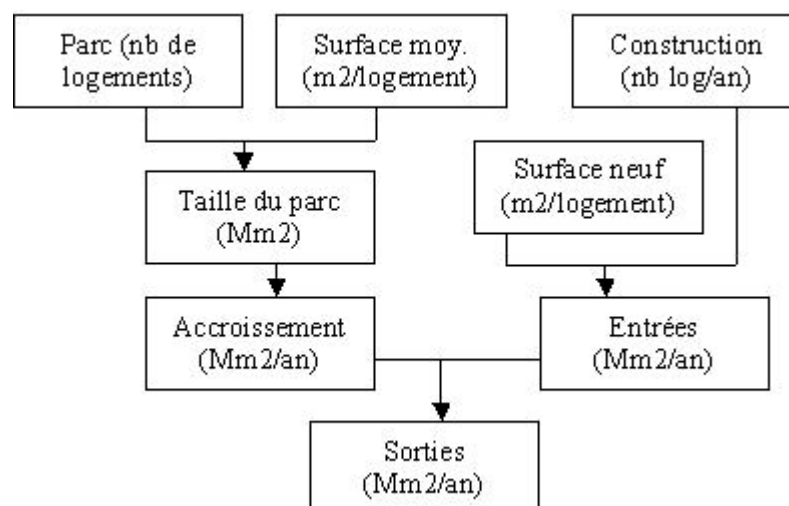
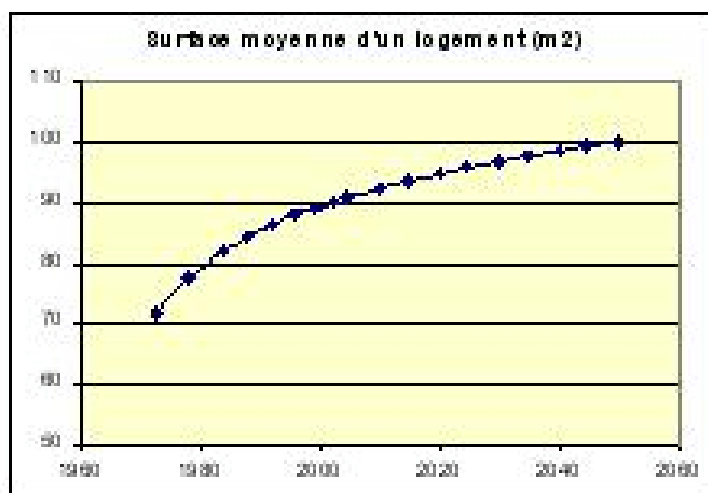


Figure 57 : Projection tendancielle à 2050 de la surface moyenne d'un logement

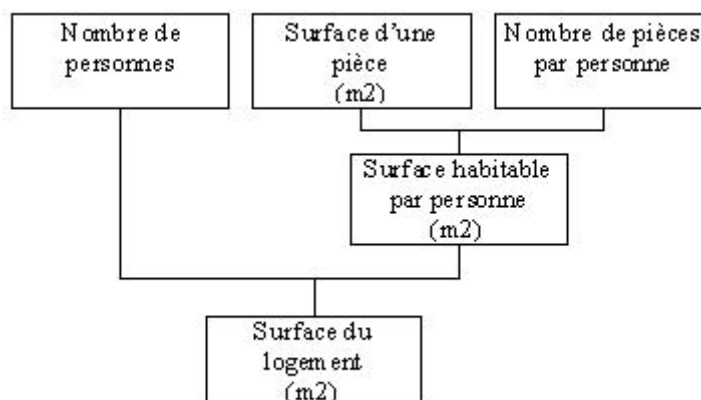


2.3.2 La surface du logement : une donnée fondamentale

La surface d'un logement intègre a priori l'ensemble des paramètres : le type (MI/IC), la taille du ménage, les données économiques du coût de l'acquisition ou de la location. De 89 m² en 1999, cette surface atteindrait 100 m² en 2050. L'augmentation rapide constatée entre 1973 (72 m²) et 1999 (89 m²) résulte de l'augmentation de la surface habitable par personne (de 25 à 36 m²), due notamment à la part grandissante de la maison individuelle. La réduction de la taille du ménage (de 2,90 à 2,45) semble jouer essentiellement sur le taux de logements en sous-peuplement, en raison du faible taux de renouvellement du parc : la décohabitation, le vieillissement de la population s'effectuent dans un parc qui s'accroît essentiellement au moyen de logements individuels de plus en plus grands.

Une population vieillissante recherchera-t-elle les mêmes conditions de logements ? Afin de mesurer les effets de scénarios contrastés, il convient de s'appuyer sur la tendance lourde de la démographie, et notamment des scénarios OMPHALE. Il est en effet préférable de tenir compte de l'évolution de la pyramide des âges, en affectant des surfaces par personne différentes selon la tranche d'âge considérée, et différenciées selon le type de logement. La procédure choisie se fonde sur les données élémentaires relatives à la surface d'une pièce, au nombre de pièce par personne, puis à la taille du ménage (figure 4).

Figure 58 : Procédure d'estimation de la surface d'un logement



Afin de dresser des perspectives contrastées de l'évolution du parc de logement, nous nous appuyerons sur trois paramètres principaux :

- la typologie des logements (individuel ou collectif) ;
- l'âge des occupants ;
- la localisation des logements.

Ces trois paramètres ont en effet un impact prépondérant sur la taille des logements, et notamment de la surface habitable par personne.

2.4 Vers la conception d'un modèle dynamique du parc

Trois méthodes sont exploitables pour le modèle dynamique de parc et notamment la construction neuve, le parc pouvant être représenté :

- en nombre de logements, de deux types, MI et IC ;
- en population ;
- en surface totale (Mm2).

La première méthode rend nécessaire la comptabilité des logements notamment des MI et des IC, puisque les surfaces des logements et les conditions d'occupation sont très différentes selon les deux catégories.

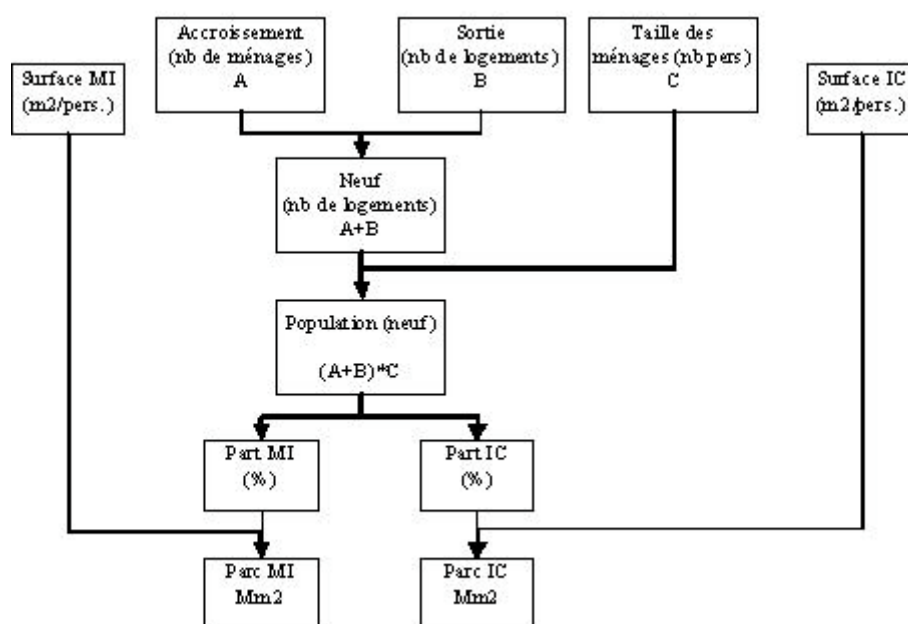
Les deux autres méthodes permettent à l'inverse, de travailler sur des données agrégées :

- la deuxième approche peut s'appuyer sur les perspectives d'évolution de la taille des ménages ;
- la dernière méthode, retenue dans les études publiées dans les cahiers du CLIP, suppose d'établir le profil à 2050 des conditions d'occupation des logements, en particulier la surface habitable (en m2/pers), qui devrait en réalité résulter des scénarios de la construction neuve, et des parts relatives de MI et de IC.

Nous adopterons cependant la première méthode, en raison des différents moteurs de la croissance du parc. En effet, la croissance de la population, suffisante pour approcher la croissance globale du parc, ne permet pas d'envisager l'effet notable de la réduction de la taille des ménages : le nombre des ménages croît en effet plus vite en taux annuel que la population, ce qui, dans notre cas, doit conduire à augmenter annuellement le nombre de logements, par la construction neuve. Depuis 1975, le nombre de ménages s'est accru en moyenne de 1,2% par an, contre 0,4% pour la population²³.

La demande potentielle de logements est ainsi liée à l'accroissement du nombre de ménages, qui s'explique principalement par le vieillissement de la population et également par la mise en couple plus tardive des jeunes. Le nombre de logements neufs correspond ainsi, annuellement, à l'accroissement du nombre de ménages au cours de l'année considérée, augmenté du nombre de logements sortis du parc. La taille moyenne du ménage permet d'estimer la population hébergée dans la construction neuve, puis, selon les hypothèses des parts respective de logements individuels et collectifs, la surface des deux parcs neufs sera estimée (figure 11). A cette dynamique du parc neuf, sera jointe une dynamique du parc existant, également affecté par les sorties du parc.

Figure 59 : Dynamique de la construction neuve, pour une unité de population donnée (commune, département, région).



²³ A. Jacquot, « La demande potentielle de logements. L'impact du vieillissement de la population », *Insee Première*, N° 875 - DÉCEMBRE 2002.

3 Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas du transport

Cette partie rend compte de la méthodologie utilisée pour calculer les émissions et les consommations d'énergie fossile liées aux déplacements recueillis dans la dernière Enquête Nationale Transport en 1993-94 (ENT94) par l'INSEE.

La procédure qui a été retenue s'inscrit dans la logique initiée par les programmes européens CORINAIR²⁴ puis MEET²⁵ en matière de calculs d'émissions de polluants atmosphériques des transports. Ces programmes de recherche se sont attachés à estimer et valider des courbes d'émissions par type de véhicules, caractérisés par leur âge, leur cylindrée et leur carburant, en fonction de leur vitesse moyenne –la variabilité des conditions de circulation correspondant à cette vitesse moyenne étant prise en compte dans le calcul des émissions afférentes.

CORINAIR a débouché sur la mise en œuvre de modèles comme COPERT de l'Agence Européenne de l'Environnement²⁶. A partir du parc de véhicules d'un pays à une année donnée, des trafics et des vitesses sur les différents réseaux, COPERT a été conçu pour établir des inventaires d'émissions et de consommation au niveau des nations européennes. Ce modèle peut également s'appliquer à des niveaux plus fins, régionaux ou locaux. Une version française, dénommée IMPACT, est proposée par l'ADEME avec une prise en compte fine des caractéristiques du parc et des conditions de circulation au niveau national²⁷.

Le programme de recherche MEET prolonge, en les affinant et les élargissant, les travaux de CORINAIR. Les fonctions d'émissions sont actualisées, la prise en compte du poids des démarrages à froid est approfondie et d'autres facteurs sont rajoutés, comme par exemple l'impact des pentes ou du chargement pour les poids-lourds. Par ailleurs un important effort a été fait pour estimer les émissions des autres modes non routiers (train, bateau et avion notamment).

Pour les estimations réalisées dans le cadre d'ETHEL, nous nous sommes donc basés sur la méthodologie proposée par MEET. En l'appliquant aux résultats d'une enquête déplacements et non directement à des trafics globaux, répartis par réseaux ou par infrastructures, ceci a permis d'allier la rigueur d'une méthodologie éprouvée et fouillée à la richesse d'informations portant sur la mobilité individuelle. L'ENT94 fournit en effet les caractéristiques socioéconomiques de 14 213 ménages, à partir desquels 95 925 déplacements du quotidien et 41 774 déplacements à longue distance ont été recueillis : en plus d'avoir une idée des quantités émises et de leur localisation, on peut ainsi s'interroger sur qui émet, pourquoi et avec quelles contraintes (de mobilité, de revenu, etc.).

²⁴ Commission of the European Communities, 1993, *CORINAIR working group on emission factors for calculating 1990 emissions from road traffic. Volume 1 : Methodology and emissions factors*. Bruxelles-Luxembourg : ECSC-EEC-EAEC. 115 p.

²⁵ European Communities, DG VII, 1999, *MEET, Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*. Luxembourg, Rapport commun INRETS, AUTH, TRL, TÜV, DTU. 362 p.

²⁶ Leonidas Ntziachristos, Zissis Samaras, 2000, *COPERT III, Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, methodology and emission factors*. Rapport LAT/AUTH pour le compte de l'Agence Européenne de l'Environnement. 86 p. <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>

²⁷ ADEME, 2003, *Logiciel IMPACT ADEME, Version 2.0 Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière*. Coll. Connaître pour Agir - 36 p.

Cette manière de poser les questions s'inscrit dans le droit fil des Budgets Energie Transport (BET) proposés par Jean-Pierre Orfeuil en 1984²⁸ : en s'appuyant sur les Enquêtes Ménages Déplacements des grandes agglomérations, l'auteur proposait d'établir une analyse des consommations énergétiques des individus liées à leur mobilité. Cette réflexion s'est prolongée par les Budgets Energie Emissions des Déplacements (BEED) réalisés par Caroline Gallez et Laurent Hivert dans le courant des années 90²⁹.

ETHEL est l'occasion de poursuivre cette démarche, en l'appliquant à un niveau national, en prenant en compte toute la mobilité – de semaine, comme dans le cas des enquêtes-ménages locales des BET et des BEED, mais aussi de week-end et à longue distance – et en mettant ces résultats en perspective par rapport aux consommations d'énergie liées aux modes d'habitat.

Cependant, si elle est relativement fournie en détails techniques sur les modes utilisés et les distances parcourues, l'ENT 94 nécessite d'adapter la méthodologie de MEET pour être à même d'établir des estimations d'émissions et de consommations. Ce rapport est donc consacré à la présentation de la méthodologie de calcul, aux hypothèses que nous avons faites et aux enjeux qu'elles recouvrent. L'exposé proposé ci-dessous se décompose dès lors en trois temps :

- ✓ Tout d'abord, un point est fait sur les types de déplacements et de modes utilisés qui représentent un enjeu important en matière d'émissions de CO2 et de consommation d'énergie. Ceci permettra de savoir où il est nécessaire de porter les efforts en matière de calcul ou, si l'information n'est pas fiable ou pas suffisamment détaillée, de mieux situer les zones d'incertitudes dans les résultats.
- ✓ Les courbes d'émissions ou les émissions moyennes utilisées pour les différents modes seront ensuite présentées.
- ✓ Enfin, un détail plus précis sera fait pour le cas de l'automobile qui représente la quasi totalité des distances parcourues lors de la mobilité quotidienne et qui reste largement majoritaire dans le cadre de la mobilité à longue distance. Ses spécificités (démarrages à froid dans le cas de la mobilité quotidienne, variabilité des vitesses puis des émissions et des consommations qui en découlent, etc.) seront traitées ici.

3.1 Situer les enjeux de calcul

Les hypothèses à poser pour réaliser les estimations étant relativement nombreuses, il convient avant tout de bien localiser les endroits où elles sont déterminantes dans les calculs. Ceci permettra soit de les affiner et de les argumenter soit, si l'information nécessaire n'est pas disponible, de mieux connaître les zones d'incertitudes et de s'interroger sur leur impact potentiel sur les résultats obtenus.

²⁸ Jean-Pierre Orfeuil, 1984, « Les budgets énergie-transport : un concept, une pratique, des résultats ». *RTS*, 2, pp. 23-29.

²⁹ Les BEED ont été calculés pour les agglomérations de Grenoble, Lille, Bordeaux ainsi que pour l'Ile-de-France par Caroline Gallez et Laurent Hivert. Voir par exemple Caroline Gallez, 1995, *Budgets énergie environnement des déplacements (BEED) en Ile-de-France*. Rapport de convention ADEME-INRETS, Arcueil, INRETS, 109 p.

Ce travail a également été réalisé sur Lyon dans le cadre d'une étude du LET et de l'Association pour les Pratiques du Développement Durable. Jean-Pierre Nicolas, Pascal Pochet, Hélène Poimboeuf, 2001, *Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération lyonnaise*. Lyon, LET, Coll. Etudes & Recherches n°16, 128 p.

Ce premier travail passe par l'évaluation des distances parcourues par mode, avec une attention particulière au cas des déplacements multimodaux. Les hypothèses posées sur les modes les plus utilisés et les plus émetteurs et énergivores seront dès lors à considérer de manière plus approfondie.

Par ailleurs, à l'occasion de l'Enquête Nationale Transports, deux types de mobilité ont été distingués, impliquant chacun un mode de recueil différent :

- ✓ la mobilité quotidienne : les déplacements de la veille du jour d'enquête ainsi que ceux du week-end précédent
(remarque : il est courant de ne retenir que la mobilité de semaine, hors week-end, dans la définition de la mobilité « quotidienne » ; nous sortons un peu de cet usage ici, avec une définition élargie : dans tout le rapport, la mobilité quotidienne renverra à la mobilité de semaine et de week-end recueillie dans cette première enquête) ;
- ✓ et la mobilité à longue distance : déplacements sortant d'un cercle de 80 km de rayon par rapport au domicile, plus exceptionnels, et pour lesquels tous les déplacements réalisés lors des 3 derniers mois ont été recueillis.

Pour ces deux recueils, un tirage différent a également été réalisé pour choisir la personne enquêtée à l'intérieur du ménage. Ainsi, même si les renseignements recueillis sont relativement homogènes, des différences apparaissent, qui ont nécessité des adaptations pour réaliser l'inventaire d'émissions et de consommations. Ces différences sont prises en compte dès cette partie.

3.1.1 Enquête mobilité quotidienne

3.1.1.1 La multimodalité : un cas marginal au cours de la mobilité quotidienne ?

Si l'on fait abstraction de la marche à pied utilisée pour les trajets terminaux (aller chercher sa voiture, descendre du bus et se rendre à son lycée, etc.), le recours à plusieurs modes successifs pour réaliser un déplacement apparaît extrêmement marginal dans le cadre de la mobilité quotidienne puisqu'il correspond à 2% des cas. Le mode unique est donc la règle pour 98% des déplacements.

Cependant, il en va autrement en termes de distances parcourues. La multimodalité est souvent le fait des déplacements longs, avec un mode intermédiaire utilisé pour rejoindre le mode lourd qui permet de parcourir l'essentiel de la distance : prendre le bus pour se rendre à la gare, prendre la voiture ou se faire accompagner à l'aéroport, etc.

De ce fait, si les déplacements multimodaux ne représentent que 2% des cas, ils couvrent quand même 13,1% de la distance totale parcourue. L'avion, le train et l'autocar sont alors les principaux modes utilisés.

Douze cas-type ont dès lors été distingués pour prendre en compte correctement ces déplacements multimodaux et la diversité des cas de figure rencontrés. L'essentiel des enjeux de calcul se concentre cependant sur l'avion puis, dans une moindre mesure, sur le train et l'autocar et les hypothèses d'émissions qui leur correspondent.

Une remarque sur les distances parcourues peut également être faite : compte tenu de l'enquête, on connaît la distance totale de chaque déplacement, ainsi que le détail des distances parcourues par les modes routiers individuels (voiture, motocyclette, mobylette) sur les réseaux urbain, routier et autoroutier. Par contre, on ne dispose pas de la répartition des kilomètres dans les autres cas (train+avion, bus+car, etc.) :

- ✓ Pour les déplacements multimodaux impliquant l'automobile, si le détail des distances n'a pas été renseigné, on a repris la distance moyenne observée dans cette configuration modale particulière.
- ✓ Pour les autres déplacements, sans la voiture, des répartitions par défaut ont été attribuées à chaque mode impliqué (soit 100% de la distance pour le mode le plus lourd, soit 50/50).

Ces différents cas de figure sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 38 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements multimodaux de la mobilité quotidienne

	% déplacements	% distance	3.1.1.2 Remarques
Avion + autre mode	0,04%	5,03%	100% de la distance a été affectée à l'avion
Train + Voiture	0,32%	3,35%	En moyenne VP=15% de la distance
Train + Autocar	0,04%	0,09%	En moyenne train=85% de la distance
Train + autres modes (Bus, TCUel, Bateau, Vélo, mob, moto, train, autre)	0,40%	2,34%	100% de la distance affectée au train
Autocar + Voiture	0,16%	0,63%	En moyenne VP=30% de la distance
Autocar + Bus	0,06%	0,10%	Par défaut, distance = ½ - ½
Autocar + autres modes (Bateau, Mob, Vélo, Autocar)	0,04%	0,08%	100% de la distance affectée à l'autocar
Voiture + Bus ou TCU el	0,01%	0,01%	En moyenne VP=35% de la distance
Voiture + Vélo, mob ou moto	0,01%	0,02%	100% de la distance affectée à la voiture
Voiture + autres modes	0,23%	0,66%	En moyenne VP=85% de la distance
Bus + Bus ou TCUel	0,36%	0,41%	Par défaut, distance = ½ - ½
Autres cas (modes impliqués : vélo, bus, TCUel, mob et bateau)	0,37%	0,39%	Émissions à 0
Total	1 452 deplts (chiffre non redressé)	13,11%	-

A partir de l'ENT94, fichiers déplacements personne A. Chiffres redressés

3.1.1.3 L'enjeu principal : une prise en considération fine de la voiture

La quasi-totalité des déplacements et l'essentiel de la distance parcourue sont donc réalisés de manière monomodale. Dans ce cadre, comme le montre le tableau ci-dessous, la voiture règne sans partage.

Tableau 39 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements unimodaux de la mobilité quotidienne

	% déplacements	% distance
Voiture	68,23%	76,23%
Autocar	1,66%	2,93%
Avion	0,01%	1,81%
Marche à pied	18,84%	1,16%
Bus	2,98%	1,11%
Train	0,16%	0,96%
TCU électriques	1,46%	0,77%
Vélo	2,82%	0,58%
Motocyclette	0,45%	0,48%
Mobylette	0,96%	0,34%
Poids-Lourd	0,24%	0,10%
Bateau	0,01%	0,07%
Autres modes	0,15%	0,34%
Total	97,97%	86,89%

A partir de l'ENT94, fichiers déplacements personne A. Chiffres redressés

En synthèse, concernant la mobilité quotidienne :

- ✓ Si l'on rajoute les distances qu'elle a parcourues lors des déplacements multimodaux (voir le tableau précédent, avec ses règles de répartition des distances entre les modes), l'automobile représente dès lors 76,9% de la distance totale.
- ✓ Viennent ensuite, très loin derrière, l'avion, le train et l'autocar avec respectivement 6,8%, 6,1% et 3,5% de la distance totale.
- ✓ Les autres modes représentent tous ensemble 6,7% de la distance et apparaissent marginaux lorsqu'ils sont considérés séparément.

Ce premier regard sur la mobilité quotidienne conduit à faire porter l'effort en matière d'estimation des émissions et consommations surtout sur les hypothèses de calcul liées à l'automobile. Dans une moindre mesure, il faudra également faire attention à l'avion, au train et à l'autocar. Enfin, on pourra contrôler les hypothèses liées aux autres modes, mais il apparaît inutile, dans leur cas, d'affiner les calculs outre mesure : les inévitables approximations effectuées au niveau de l'automobile et des modes dédiés à la longue distance (avion, train, autocar) apporteront de toute façon une incertitude supérieure aux niveaux d'émissions et de consommations de ces autres modes.

3.1.2 L'enquête longue distance

L'enquête sur la mobilité quotidienne a cependant plus de difficulté à prendre en compte la mobilité longue distance. Plus exceptionnelle, cette dernière est moins bien représentée dans les déplacements de la veille. Pour éviter des biais liés à cette sous-représentation, un recueil spécifique a donc été conduit.

L'enquête longue distance a consisté à recueillir tous les déplacements d'une personne du ménage réalisés dans les 3 mois précédents l'enquête et sortant d'un rayon de 80 kilomètres à vol d'oiseau du domicile.

3.1.2.1 Moins de précisions dans l'enquête et un traitement simplifié de la multimodalité

Compte tenu de leur plus grande complexité et, surtout, de leur caractère plus lointain par rapport au moment de l'enquête, la description de ces longs déplacements est relativement moins précise que dans le cas de la mobilité quotidienne.

Ainsi, cette fois, les déplacements multimodaux représentent 17,6% des cas et 37,8% des distances (contre 1,3% et 12,1% précédemment). Les kilométrages déclarés sont sans doute plus grossiers ; dans le cas des modes routiers, seuls deux niveaux de réseau ont été distingués (autoroutier et routier, le second incluant l'urbain) et ils sont très peu renseignés en cas de multimodalité (dans moins de 7% des cas, alors qu'ils le sont à 64% lorsqu'il n'y a qu'un mode impliqué).

Comme dans le cas précédent, les distances non renseignées ont été complétées soit par la répartition moyenne du cas de figure considéré, soit attribuées par défaut à 100% du mode le plus lourd (nous n'avons pas considéré de répartition ½ / ½ cette fois-ci).

Remarque : les hypothèses sur la répartition Route / Autoroute dans le cas de la voiture, plus conséquentes, sont présentées dans le §4. spécifiquement consacré aux hypothèses de calcul propres à ce mode.

Tableau 40 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements multimodaux de la mobilité à longue distance

	% déplacements	% distance	3.1.2.2 Remarques
Avion + autre mode	3,78%	23,66%	100% de la distance a été affectée à l'avion
Voiture + Train	8,47%	8,02%	En moyenne VP=15% de la distance
Train + autres modes (hors voiture et avion)	2,50%	2,45%	100% de la distance affectée au train
Voiture + Bateau	0,57%	1,47%	En moyenne VP=21% de la distance
Voiture + Autocar	1,29%	1,23%	En moyenne VP=30% de la distance
Voiture + autres modes (MAP, Bus, TCUEl, ...)	0,75%	0,65%	100% de la distance affectée à la voiture
Autocar + autres modes (Hors voiture, avion et train)	0,28%	0,29%	100% de la distance affectée à l'autocar
Autres cas (modes impliqués : bus, TCUEl, bateau et 'autres')	0,02%	0,01%	Distance et émissions bus si un bus est impliqué, émissions à 0 sinon
Total	17,65%	37,77%	-

A partir de l'ENT94, fichier déplacements personne B. Chiffres redressés

3.1.2.3 La voiture est moins dominante que dans le cas précédent

A ces déplacements complexes, se rajoutent les déplacements unimodaux plus simples à traiter et qui restent majoritaires, en nombre comme en distance.

La voiture y conserve la place dominante, suivie de très loin par l'avion, l'autocar et le train.

Tableau 41 : Répartition par mode des distances parcourues, dans le cas des déplacements unimodaux de la mobilité à longue distance

	% déplacements	% distance
Voiture	73,2%	51,4%
Avion	0,54%	3,39%
Autocar	3,23%	2,65%
Train	1,57%	1,54%
Motocyclette	0,37%	0,26%
Bateau	0,12%	0,08%
Mobylette	0,02%	0,01%
Vélo	0,02%	0,01%
Bus	0,01%	0,00%
TCU électriques	0,01%	0,00%
Marche à pied	0,00%	0,00%
Autres modes	3,29%	2,93%
Total	82,4%	62,2%

A partir de l'ENT94, fichier déplacements personne B. Chiffres redressés

Si, comme dans le cas de la mobilité quotidienne, on rajoute les distances de chaque mode, indépendamment de la complexité du déplacement, la hiérarchie modale se retrouve encore, mais largement atténuée.

- ✓ La voiture représente 54% de la distance totale des déplacements sortant d'un rayon de 80 km autour du domicile.
- ✓ L'avion couvre 27% de cette distance, le train 10,8% et l'autocar 3,8%.
- ✓ Enfin, dans les 4,4% de distance restante, 2,9% sont le fait d'un mode indéterminé.

3.1.3 Conclusion : d'abord la voiture, mais aussi l'avion puis le train et le car

Compte tenu des légères variations dans les informations recueillies, les deux enquêtes entraînent des différences au niveau des hypothèses posées pour calculer les émissions et consommations des modes de transport impliqués.

Ceci concerne essentiellement l'estimation des distances parcourues par mode :

- ✓ notamment la répartition des déplacements automobile sur les réseaux autoroutier, routier et urbain pour les déplacements quotidiens ou autoroutier et routier (incluant alors l'urbain) pour les déplacements à longue distance. Cette répartition par réseau influe ensuite les hypothèses de vitesse qui jouent elles-mêmes sur le calcul des émissions (cf. §2.3.) ;
- ✓ les indications de distances sont également moins souvent fournies et sans doute plus grossières en moyenne dans le cas des longues distances.

Par ailleurs, les enjeux de calcul ne sont pas les mêmes pour les différents modes. La voiture est le mode dominant ; viennent ensuite l'avion, le train et l'autocar, alors que les autres modes apparaissent comme marginaux.

L'existence des deux fichiers consacrés l'un à la mobilité « quotidienne » de la veille et du week-end précédent, l'autre à la mobilité de longue distance brouille ici un peu les cartes. Il est en effet difficile d'ajuster les deux informations l'une par rapport à l'autre, sachant que de la longue distance est incluse dans la mobilité quotidienne, mais qu'elle est mieux prise en compte dans l'enquête spécifique, avec un recueil sur les 3 dernier mois pour ces déplacements plus exceptionnels (sachant qu'en matière de mobilité quotidienne, le mois d'août n'est par exemple pas enquêté).

Jean-Pierre Orfeuil et Danièle Soleyret s'étaient penchés sur cette question dans leur travail sur les liens entre la mobilité de courte et longue distance à partir de l'ENT94³⁰. Ils estiment qu'en termes de déplacements, la mobilité locale représente 99% des parts de marché, et la mobilité à longue distance (+de 80 km à vol d'oiseau du domicile), 1%. En termes de distances, le tableau change complètement puisqu'elles font respectivement 60% et 40%. Si l'on reprend ces chiffres, et que l'on considère que nos répartitions modales sont bonnes dans le fichier longue distance pour tous les déplacements à plus de 80 km du domicile et dans le fichier mobilité quotidienne pour les déplacements locaux, on obtient alors la répartition suivante :

✓ Automobile	75% des distances
✓ Avion	11%
✓ Train	4,5%
✓ Car	3,5%
✓ Autres modes	6%

Ces chiffres restent approximatifs mais montrent bien la hiérarchie des distances parcourues par mode, indiquant par là où doivent porter en priorité l'attention et la rigueur quant aux hypothèses de calcul des émissions.

3.2 Les émissions unitaires retenues pour chaque mode

Quel que soit le mode considéré, nous nous sommes attachés à respecter les méthodologies de calcul mises au point dans le cadre du programme européen MEET (2001)³¹. Les résultats présentés ici, et utilisés ensuite pour nos propres calculs, reprennent donc soit directement les chiffres issus de ce programme, soit des travaux ultérieurs reprenant la méthodologie préconisée et fournissant des chiffres plus directement opérationnels compte tenu de nos propres besoins.

3.2.1 L'avion

Avec 7% des distances parcourues en mobilité « quotidienne » et surtout 27% des distances en mobilité « longue distance », les hypothèses posées en matière d'émission et de consommation de l'avion sont loin d'être neutres.

³⁰ Jean-Pierre Orfeuil, Danièle Soleyret, 2002, « Quelles interactions entre les marches de la mobilité à courte et à longue distance? », *RTS* 76, pp.208-221.

³¹ European Communities, DG VII, 1999, *MEET*, *Op. Cit.*

Ne disposant pas des caractéristiques techniques des vols utilisés par les personnes enquêtées, nous avons cherché à établir des émissions et consommations unitaires moyennes, exprimées par passager.kilomètre : ce sont ces données unitaires qui ont ensuite été appliquées aux kilométrages réalisés en avions.

Pour les calculer, nous avons confronté des estimations d'émissions et de consommations globales au trafic commercial annuel réalisé en France en 1994.

1/ Dans un travail d'estimation des émissions des modes non routiers, Maria Piedad Castro Ortega a établi un inventaire annuel pour le trafic aérien généré en France, à l'aide du logiciel AvioMEET mis au point dans le cadre du programme MEET³².

Pour ses calculs, le logiciel nécessite des données précises comme le type d'appareil, la distance de vol, le nombre de décollages et d'atterrissages. Maria Piedad Castro Ortega a repris les données fournies par la DGAC sur les trafics aériens nationaux et internationaux entre 1986 et 2000, comprenant les informations requises pour réaliser les calculs d'émissions et de consommation : nous avons repris ses résultats obtenus sur la base du trafic commercial de 1994.

2/ L'estimation des passagers.kilomètres a par ailleurs été reprise des Comptes Transports : 133 803 millions de pass.km en 1994, lorsqu'on cumule trafic intérieur et trafic international lié à la France en origine ou en destination.

3/ On a alors pu établir des émissions moyennes par passager.kilomètre, qui ont ensuite été utilisées pour nos propres calculs.

Tableau 42 : Trafic commercial aérien de 1994

Nombre de vols	Distance totale (milliers de km)	Distance par vol (km)
623 824	922 112	1 418

caractéristique des vols pris en compte par Castro Ortega (2001)

Tableau 43 : Emissions et consommations totales (en tonnes) du trafic aérien de 1994

Kérosène	En Tep	CO2	NOx	HC	CO	SO2
7 177 100	7 521 601	22 607 865	70 717	4 349	11 155	7 177

estimations AvioMEET in Castro Ortega (2001) p. 48

Tableau 44 : Emissions et consommations unitaires (en g/pass.km) du trafic aérien

Kérosène	En gep	CO2	NOx	HC	CO	SO2
53,64	56,21	168,96	0,5285	0,0325	0,0834	0,0536

estimations à partir de Castro Ortega (2001) et des comptes transports 1995

³² Maria Piedad Castro Ortega, 2001, *Evolution des émissions françaises de polluants par les transports non-routiers*. Rapport INRETS n°LTE 0125. 72 p.

Deux sources d'incertitude restent à garder à l'esprit :

- ✓ Même si AvioMEET est sans doute aucun l'un des outils les plus performants à l'heure actuelle pour estimer les émissions et consommations des avions, l'hétérogénéité de la flotte et des conditions de vol est telle que des approximations restent. Par exemple, des comparaisons ont été réalisées entre les résultats issus des projets MEET et AERONOX : des variations importantes dans les estimations de consommation par unité de distance peuvent apparaître lorsqu'on compare les résultats pour un vol donné, et un inventaire global des consommations établi sur l'Autriche conduit à un différentiel de 10% entre les deux méthodologies³³.
- ✓ Concernant le trafic commercial, Maria Piedad Castro Ortega utilise les données fournies par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) ; les chiffres des Comptes Transports en matière de passagers.kilomètres proviennent également de la DGAC. Cependant, si l'on compare la distance moyenne d'un vol, seul élément convergent entre Castro Ortega et la CCTN que l'on puisse calculer, on obtient une légère différence de 3%³⁴. Il existe donc une incertitude sur la cohérence complète entre les deux sources de trafic aérien que nous avons utilisées.

Les résultats obtenus restent malgré tout très cohérents. Ils peuvent par exemple être comparés aux calculs de Jean-Marc Jancovici qui estime qu'un passager d'un long courrier moderne type A340 d'Airbus consommerait environ 0,06 litre de kérosène au kilomètre : 194 800 litre de carburant pour parcourir 13 900 kilomètres (données constructeur), pour une capacité de 380 passagers et un taux de remplissage moyen des avions de 70%³⁵. Ceci correspond à 49,2 grammes de kérosène pour une masse volumique de 820 kg/m³ – ou encore 51,6 gep/pass.km.

Il y a une différence d'environ 9% entre nos chiffres et ceux de Jancovici : les ordres de grandeur se rejoignent donc, sans qu'il soit possible d'aller plus loin dans la comparaison, sachant que l'on est d'un côté sur un type d'appareil particulier, récent, de grande capacité et destiné aux vols longs courriers, et de l'autre sur une flotte hétérogène en âge et en taille, réalisant tous types de voyages.

3.2.2 Le train

Du fait de distances parcourues moins importantes et d'émissions et consommations de pétrole beaucoup moins élevées (une grande partie du trafic est réalisé grâce à l'énergie électrique), les hypothèses concernant le train auront beaucoup moins d'impact que celles liées à l'avion.

Comme dans le cas précédent, des estimations réalisées dans le cadre du travail de Maria Piedad Castro Ortega (2001) ont été reprises et confrontées aux voyageurs.kilomètres fournis par le Compte des Transports de la Nation pour 1994.

³³ European Communities, DG VII, 1999, *MEET*, ... Op. Cit., pp. 281-282.

³⁴ M.P. Castro Ortega : 623 824 vols commerciaux recensés en 1994, pour une distance de 922 112 milliers de kilomètres, soit 1 478 km par vol en moyenne.

Comptes transports : 87 895 milliers de passagers pour 133 803 millions de passagers kilomètres, soit 1 522 kilomètres par passager et par vol.

Entre les comptes transports et le travail de M.P. Castro Ortega, il existe donc une légère différence de -2,90%

³⁵ Jancovici Jean-Marc, 2000, modifié 2002, *quelles émissions de gaz à effet de serre seront engendrées par la construction d'un 3^{ème} aéroport parisien ?* www.manicore.com, 7 p.

Tableau 45 : Emissions totales des trains de voyageurs en 1994

En tonnes	Traction diesel		électrique	Total
	Émissions directes	indirectes	indirectes	
CO2	568 733	508	332 979	902 220
CO	1 934	0	39	1973
NOx	7 151	0	867	8018
COV	842	0	39	881
SO2	993	2	1 659	2 654

Voyageurs kilomètres en train sur le territoire français en 1994 : 58,9 milliards estimations à partir de Castro Ortega (2001), (Traffics trains et voyageurs SNCF, hors RATP et TU fer de province ; source : Compte des transports de la nation en 1995)

Tableau 46 : Emissions unitaires (en g/pass.km) du trafic ferroviaire

CO2	NOx	HC	CO	SO2
15,32	0,1361	0,0150	0,0335	0,0451

estimations à partir de Castro Ortega (2001) et des comptes transports 1995

Pour établir une consommation unitaire, nous avons repris la formule préconisée dans MEET pour le gazole permettant de remonter des émissions à la consommation :

$$[Carb] = (12.r) \cdot ([CO2]/44 + [CO]/28 + [HC]/(12+r) + [Part]/12) \quad [1]$$

$[Carb]$ correspond à la masse de carburant consommé ;

$[CO2]$, $[CO]$, $[HC]$, $[Part]$ correspondent aux masses de polluants émis ;

r correspond au rapport entre hydrogène et carbone dans le carburant et les émissions d'hydrocarbures. Il est estimé à 1,8 dans le cas de l'essence et 2,0 dans celui du gazole.

Ainsi, compte tenu des émissions, la consommation serait de 4,96 g/pass.km, (soit 4,96 gep/pass.km si l'on considère que c'est du gazole).

Ce chiffre reste approximatif car l'énergie fossile utilisée pour la traction ferroviaire ne correspond pas forcément à du gazole et le coefficient r n'est sans doute pas égale à 2. Cependant, compte tenu des faibles consommations en jeu (pour rappel, un passager kilomètre en avion nécessite 51,6 gep, pour moins de 5 ici) et des distances impliquées relativement modestes par rapport à celles l'automobile et à l'avion, nous avons retenu cette valeur pour nos calculs.

3.2.3 Les modes routiers lourds (autocar, bus et poids-lourd)

Dans MEET, les émissions et consommations des autocars, des autobus et des poids-lourds sont établies à partir d'un même type de courbe :

$$\varepsilon = K + av + bv^2 + cv^3 + d/v + e/v^2 + f/v^3 \quad [2]$$

avec :

ε taux d'émission en g/km

v vitesse moyenne du véhicule en km/h

K constante
 $a-f$ coefficients

Des coefficients différents sont établis pour chaque polluant, permettant de calculer les émissions correspondantes.

A partir des émissions, les consommations peuvent être déduites à partir de la formule [1] fournie dans le cas du train. Pour rappel, elle est remise ici :

$$[Carb] = (12.r) \cdot ([CO_2]/44 + [CO]/28 + [HC]/(12+r) + [Part]/12)$$

Autocars, autobus et poids-lourds ont été considérés comme diesels, et le coefficient r a été mis à 2.

Des hypothèses de vitesse différentes selon ces 3 modes ont été retenues ; de même que pour les taux d'occupation des autobus et autocars. Elles sont indiquées dans les parties leur correspondant.

3.2.3.1 Les autocars

L'autocar est le dernier mode utilisé pour parcourir de grandes distances. Les émissions unitaires par passager sont plus élevées que dans le cas du train, mais les distances totales sont moindres. L'enjeu de calcul reste donc, là encore, limité.

Pour établir les émissions unitaires d'un autocar, nous avons directement repris les courbes de MEET indiquées précédemment (équation [2]), et les valeurs de K et des coefficients a à f , dépendantes du type de polluant, sont indiquées ci-dessous.

Tableau 47 : Coefficients des fonctions d'émission des autocars

	K	a	b	c	d	e	f
CO	0,93	0	$-4 \cdot 10^{-5}$	0	99,2	0	0
CO ₂	523	0	-0,0487	$527 \cdot 10^{-6}$	12 501	0	0
COV	0,632	$-402 \cdot 10^{-5}$	0	0	59,3	0	254
NO _x	6,12	0	$-651 \cdot 10^{-6}$	$723 \cdot 10^{-8}$	181	0	0
PM	0,193	0	0	0	15,6	0	29,6

MEET, 1999, p. 72

Par ailleurs, le taux d'occupation des autocars a été retenu égal à 33³⁶.

Enfin, par défaut les vitesses ont été mises à 30 km/h pour les déplacements de moins de 100 km et à 60 km/h pour les déplacements plus longs.

3.2.3.2 Les autobus

Une fois la voiture, l'avion, le train et l'autocar pris en compte, les distances considérées sont extrêmement faibles, et les enjeux de calcul apparaissent limités dans le cadre du bilan global.

Pour le bus, une méthodologie comparable à celle de l'autocar a été mise en œuvre. La même formule a été utilisée (équation [2]), avec les coefficients ci-dessous. Les consommations sont ensuite déduites de ces émissions (équation [1]).

³⁶ chiffre moyen établi à partir des résultats de l'enquête Transports Routiers de Voyageurs, 1998. Cité tome 1, p. 37, par Claude Quin, Fabien Duprez, Nadège Bourgis, 2001, *Compte National Transport de voyageurs (1998)*, rapport CGPC, Certu, Systra, pour le compte du Ministère de l'équipement, des transports et du logement.

Tableau 48 : Coefficients des fonctions d'émission des autobus

	K	a	b	c	d	e	f
CO	1,64	0	0	0	132	0	0
CO2	679	0	0	$-268 \cdot 10^{-5}$	9 635	0	0
COV	$778 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	41,2	0	184
NOx	16,3	-0,173	0	0	111	0	0
PM	$694 \cdot 10^{-4}$	0	$366 \cdot 10^{-6}$	$-871 \cdot 10^{-8}$	13,9	0	0

MEET, 1999, p. 72

Les vitesses et les taux d'occupation ont été établis en fonction de la taille de l'unité urbaine concernée³⁷ :

Unité urbaine < 300 000 habitants	vitesse = 25 km/h	tx occupation = 11
Unité urbaine > 300 000 habitants	vitesse = 20 km/h	tx occupation = 13
Paris et région Ile de France	vitesse = 15 km/h	tx occupation = 18

3.2.3.3 Les poids-lourds

Quelques déplacements ont été réalisés en poids-lourd. Là encore, la méthodologie MEET a été reprise en distinguant des vitesses différentes selon le type de voirie empruntée.

Tableau 49 : Coefficients des fonctions d'émission des poids-lourds

	K	a	b	c	d	e	f
CO	1,5	-0,0595	$119 \cdot 10^{-5}$	$616 \cdot 10^{-8}$	58,8	0	0
CO2	110	0	0	$375 \cdot 10^{-6}$	8 702	0	0
COV	0,186	0	0	$-297 \cdot 10^{-9}$	61,5	0	0
NOx	0,508	0	0	$387 \cdot 10^{-8}$	92,5	-77,3	0
PM	0,0506	0	0	$122 \cdot 10^{-9}$	12,5	0	-21,1

MEET, 1999, p. 71

Trois vitesses moyennes de référence ont été utilisées :

En milieu urbain : $v = 15$ km/h

Sur route : $v = 30$ km/h

Sur autoroute $v = 100$ km/h

Le taux d'occupation des véhicules était indiqué dans l'enquête et a donc été utilisé directement dans nos calculs.

³⁷ Les taux d'occupation sont tirés du *Compte National Transport de voyageurs (1998)*, Op. Cit.

3.2.4 Mobylette et Motocyclettes

Pour les mobylettes, des émissions unitaires moyennes sont fournies dans MEET et ont été directement utilisées :

Tableau 50 : Emissions unitaires moyennes des mobylettes (en g/km)

CO	15,0
CO2	27,3
COV	9,00
NOx	0,03

MEET, 1999, p. 73

Pour les motocyclettes, nous avons repris les courbes d'émissions proposées dans MEET, p. 74, en distinguant les cylindrées puisque cette information est disponible dans l'enquête, et en supposant 50 km/h en urbain, 80 km/h sur route et 120 km/h sur autoroute. Les émissions unitaires obtenues sont alors les suivantes :

Tableau 51 : Emissions unitaires moyennes des motocyclettes (en g/km)

g/veh.km	< 250 cm ³			250 – 750 cm ³			≥ 750 cm ³		
	Urbain	Route	Autoroute	Urbain	Route	Autoroute	Urbain	Route	Autoroute
CO	48,5	30,1	20,6	29,6	22,8	18,7	29,0	22,0	14,0
NOx	0,46	0,28	0,17	0,31	0,18	0,17	0,50	0,30	0,19
COV	2,46	0,90	1,15	1,06	0,96	1,06	1,01	1,45	1,93
CO2	58,4	41,5	35,6	79,2	53,0	51,8	80,0	62,0	78,5

MEET, 1999, p. 74

3.2.5 Les autres modes

Les autres modes disponibles dans l'enquête sont essentiellement des modes « doux » : marche à pied, vélo, transports collectifs urbains électriques. Il y a aussi quelques déplacements utilisant le bateau. Enfin, quelques déplacements sont restés indéterminés quant au mode utilisé (« autre mode » ou « non réponse ») : nous avons vu que dans le fichier longue distance notamment, 2,9% des distances parcourues se retrouvaient dans ce cas.

Pour tous ces cas, les émissions et consommations ont été mises à 0.

3.3 Le cas particulier de l'automobile

Que ce soit dans le cadre des déplacements quotidiens ou, dans une moindre mesure, celui des déplacements à longue distance, la voiture est le mode le plus utilisé dans l'enquête nationale

transport de 1994. Il est donc important de maîtriser les hypothèses utilisées pour calculer les émissions et consommations qui lui reviennent.

Là encore, le rapport MEET (1999) a servi de référence et a fourni des données relativement fouillées et détaillées en fonction de la vitesse, de la cylindrée, de l'âge et du type de carburation de chaque véhicule. Des correctifs ont été utilisés pour prendre en compte les surémissions et surconsommations liées aux distances parcourues à froid.

Il existe des coefficients plus synthétiques établis à partir de COPERT ou du modèle IMPACT de l'Ademe, donnant des émissions moyennes par réseau (urbain, route, autoroute) compte tenu du parc français et restant cohérents avec la méthodologie MEET. Les utiliser n'aurait sans doute pas modifié les résultats globaux. Par contre, le détail plus fin des émissions par type de ménage, avec des revenus et des localisations différenciés induisant des parcs automobiles différents, aurait été perdu³⁸. Nous avons donc préféré rester au plus près de la méthodologie de calcul originelle, malgré la lourdeur supplémentaire qu'elle impliquait.

3.3.1 Les informations disponibles et les informations à reconstituer

Toutes les fonctions de calcul des émissions unitaires proposées dans MEET nécessitent l'âge du véhicule, sa cylindrée, son type de carburant et sa vitesse moyenne lors du déplacement. On trouvera en annexe toutes les fonctions d'émissions ainsi établies pour les différents polluants.

Même si elles ne couvrent pas complètement tous les champs nécessaires à cette méthodologie de calcul, les informations proposées par l'enquête nationale transport sur les voitures utilisées sont relativement détaillées.

Pour chaque véhicule, on dispose de ses caractéristiques techniques :

- ✓ âge,
- ✓ cylindrée,
- ✓ carburant.

Le taux d'occupation du véhicule est également connu, ce qui permet d'imputer les émissions et consommations à chaque passager au prorata du nombre d'occupants.

Par contre, deux types d'indications importantes manquent pour pouvoir établir des estimations d'émissions et de consommations :

- ✓ La vitesse moyenne du déplacement, qui sert de variable de calcul dans MEET. Comme des distances parcourues par type de voirie (voirie urbaine, route, autoroute) sont indiquées dans chaque enquête, nous avons posé des hypothèses de vitesse moyenne par réseau.
- ✓ Par ailleurs, des informations sur le départ à froid ont été reconstituées pour les déplacements quotidiens, souvent relativement courts, et pour lesquels les surémissions à froid peuvent être importantes.

³⁸ Lors d'une étude précédente, nous avons ainsi pu montrer que les émissions et consommations des habitants de la région lyonnaise dépendaient certes d'abord de leur localisation au sein de l'agglomération (entraînant des distances plus ou moins longue à parcourir quotidiennement), mais que le niveau de revenu intervenait ensuite, jouant sur la cylindrée et l'âge des véhicules et donc sur les consommations et émissions qui s'ensuivaient. Cf. Nicolas Jean-Pierre, Pochet Pascal, Poinboeuf Hélène, 2001, *Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération lyonnaise, méthodes et résultats*. Rapport de recherche LET-APDD pour le compte de Renault. 237 p.

3.3.2 Les surémissions à froid : surtout pour les petits déplacements

Dans le cadre de la mobilité quotidienne, on connaît l'heure de départ et l'heure d'arrivée de chaque déplacement ; si c'est une voiture qui a servi à le réaliser, elle est également repérée par un n° d'identification. A partir de ces informations, on peut reconstituer un fichier de déplacement des voitures, avec notamment la durée d'arrêt entre chaque déplacement.

Il apparaît ainsi que 75% des départs se font après plus d'une heure de pause. Lorsque l'on rajoute que la distance moyenne parcourue pour un déplacement automobile dans le cadre du quotidien est de 13,8 km et qu'il peut y avoir des surémissions sur les 5 ou 6 premiers kilomètres (suivant le type de voiture et de polluant) du fait que le moteur n'est pas encore chaud, il apparaît important de bien prendre en compte ce phénomène.

Dans le cadre de la mobilité à longue distance, ce facteur est beaucoup moins important, car les déplacements automobiles font alors en moyenne 274 km.

3.3.2.1 Le calcul des surémissions dans MEET

MEET permet d'estimer les surémissions d'un véhicule si l'on connaît la température du moteur au démarrage³⁹. La formule de calcul est :

$$\text{Surémission} = w \cdot [f(V) + g(T) - 1] \cdot h(d) \quad [3]$$

Avec :

Surémission exprimée en grammes

<i>V</i>	vitesse moyenne durant la période à froid, en km/h
<i>T</i>	température en °C (température ambiante pour les démarrages à froid, température du véhicule au démarrage pour les départs à température intermédiaire)
<i>d</i>	distance du déplacement
<i>w</i>	Surémission de référence (à 20 °C et 20 km/h)

La vitesse moyenne durant la période à froid peut être reconstituée à partir des distances par type de réseau et des vitesses qui leur sont attribuées (*cf.* partie suivante). La distance du déplacement est donnée dans l'enquête.

La forme et les coefficients des fonctions $f(V)$, $g(T)$, $h(d)$, ainsi que la surémission de référence w , sont fournis dans le rapport MEET (1999). Ils peuvent donc être recalculés simplement à partir des valeurs de V , T et d .

Seule la température du moteur au démarrage reste donc indéterminée.

3.3.2.2 Estimation de la température du moteur au démarrage

Pour établir une température du moteur au moment du démarrage, nous avons repris la méthode qui avait été utilisée dans Nicolas et *alii* (2001)⁴⁰. Une courbe de refroidissement du moteur avait été calculée à partir des données de l'enquête « EUREV » (Etude sur l'Utilisation REelle des Véhicules) menée par l'INRETS entre 1983 et 1985⁴¹. En effet, pour

³⁹ Cf. European Communities, DG VII, 1999, *MEET, Op. Cit.*, pp. 91-96

⁴⁰ Cf. Nicolas Jean-Pierre, Pochet Pascal, Poimboeuf Hélène, 2001, *Indicateurs de mobilité durable... Op. Cit.* pp. 66-69.

⁴¹ ANDRE M., ROUMEGOUX, J.P., DELSEY J., GUITTON, J.P., VIDON R. : *Etude expérimentale sur les utilisations réelles des véhicules (EUREV)*. Bron : Rapport INRETS n°48, 1987. 125 p.

cette enquête, un échantillon de 35 automobiles avait été constitué, et 3 340 déplacements avaient été analysés. Pour ces derniers les temps de repos et la température du moteur au démarrage avaient été recueillis.

Les hypothèses de calcul de la température qui en avaient été déduites et qui ont été reprises dans le cadre du projet ETHEL figurent ci-dessous.

si $\text{repos} < 40,8'$,
 $\text{température} = 95 + ((40 - 95) / (40,8 - 0)) * (\text{repos} - 0)$

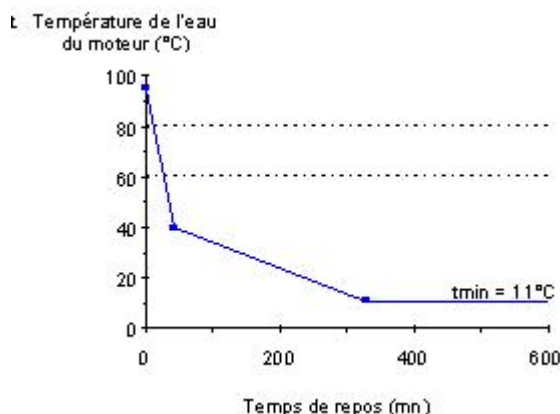
si $\text{repos} \in [40,8' ; 328,2']$,
 $\text{température} = 40 + ((t_{\min} - 40) / (328,2 - 40,8)) * (\text{repos} - 40,8)$

si $\text{repos} \geq 328,2'$,
 $\text{température} = t_{\min}$

avec pour valeurs de t_{\min} :

si départ de « nuit » (20h-6h) hors abri	$t_{\min} = 9^{\circ}\text{C}$
si départ de « matin » (6h-9h) hors abri	$t_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$
si départ « nuit » ou « matin » sous abri	$t_{\min} = 12^{\circ}\text{C}$
si départ de « journée » 9h-17h	$t_{\min} = 12^{\circ}\text{C}$
si départ de « soirée », 17h-20h	$t_{\min} = 12,5^{\circ}\text{C}$

(à partir des moyennes Météo France de Bron, 1994)



3.3.2.3 Conclusion

Les surémissions à froid dépendent largement du type de polluant. La méthodologie de calcul utilisée ici, avec les hypothèses retenues et compte tenu des déplacements pris en considération (déplacements « quotidiens » au niveau national en 1994), leur poids est le suivant dans les émissions calculées :

Tableau 52 Poids des surémissions liées aux démarrages à froid des automobiles

% de surémission à froid	
CO	40,7%
COV	40,3%
NOx	0,8%
PM	21,0%
CO2	4,9%
Consommation	9,1%

Les deux estimations qui nous intéressent le plus dans le cadre du projet ETHEL sont les émissions de CO2 et la consommation d'énergie.

La prise en compte fine des démarrages à froid permet de réévaluer ces estimations puisqu'ils représentent respectivement 4,9 et 9,1% des surémissions de CO2 et des surconsommations de carburant. Elle permet surtout de bien corriger les petits déplacements automobiles : pour les déplacements de moins de 5 kilomètres, ces proportions s'élèvent à 15,8% et 25,9%.

Par contre, il y a peu à gagner sur les déplacements longs ($\text{CO}_2 = +0,44\%$, consommation = +0,77% pour les déplacements de plus de 100 km). La méthode, relativement

lourde à mettre en œuvre, n'a donc pas été appliquée sur le fichier « longues distances » sachant, rappelons-le, que le déplacement automobile moyen fait alors 274 km au lieu des 13,8 km du fichier « mobilité quotidienne ».

3.3.3 Une reconstitution des vitesses en fonction du réseau

3.3.3.1 *Le principe retenu*

Le second élément d'incertitude sur les calculs d'émissions des automobiles concerne la vitesse des déplacements. Elle ne figure pas dans l'enquête, et les indications sur l'heure de départ et d'arrivée restent approximatives, non seulement parce que les personnes interrogées indiquent des horaires arrondis, mais surtout parce qu'elles incluent les temps terminaux nécessaires pour aller prendre à sa voiture ou pour se rendre sur le lieu de destination final.

Ces limites, qui sont sans doute d'autant plus sensibles que le déplacement est court, ont été contournées en utilisant d'autres informations fournies dans l'enquête. En effet, dans l'enquête « mobilité quotidienne », on connaît les distances parcourues en urbain, sur route et sur autoroute ; dans l'enquête « longue distance », les réseaux urbain et route sont regroupés, mais la distinction autoroute reste.

Nous avons dès lors fixé des vitesses moyennes par type de réseau, qui ont ensuite été utilisées pour les calculs d'émissions.

3.3.3.2 *La détermination des vitesses retenues*

a) Un problème de définition des types de voirie

Pour l'utilisation de son modèle IMPACT, l'ADEME préconise d'utiliser les vitesses suivantes pour les différents réseaux :

- ✓ Urbain 30 km/h
- ✓ Route 70 km/h
- ✓ Autoroute 95 km/h pour les véhicules à essence de cylindrée inférieure à 1,4l ;
105 km/h pour les véhicules à essence de cylindrée entre 1,4l et 2l ;
115 km/h pour les véhicules à essence de cylindrée supérieure à 2l et pour
tous les véhicules diesel

Ces vitesses peuvent ensuite être appliquées aux trafics annuels nationaux répartis selon ces 3 réseaux. Par exemple, dans leur dernier inventaire d'émissions des transports routiers, Stéphanie Lacour et Robert Joumard ont reconstitué, pour 1994, 128 milliards de véhicules.kilomètres sur le réseau urbain, 190,1 sur la route et 87,5 sur autoroute en considérant automobile et véhicules utilitaires légers⁴². En reprenant cette répartition des trafics et en retenant une vitesse moyenne de 110 km/h sur autoroute, on obtient alors une vitesse moyenne de 52 km/h sur l'ensemble du réseau⁴³.

⁴² Stéphanie Lacour, Robert Joumard, 2002, *Parc, usage et émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2020*. Rapport INRETS n° LTE 0208. 89 p.

⁴³ Nous avons repris ici les chiffres de Joumard et Lacour qui concernent 1994, mais qui incluent les VUL. Si l'on veut se restreindre aux automobiles des ménages proprement dites (qui correspondent mieux à l'enquête nationale transport), on peut par exemple utiliser les chiffres de Laurent Hivert, 1998, *Le parc automobile des ménages (fin d'année 1996)*, rapport Inrets-Ademe. La répartition des trafics automobile entre urbain, route et

Cependant, la répartition des trafics sur le réseau est toute autre lorsqu'on revient aux données de l'enquête nationale transport sur laquelle nous travaillons :

Tableau 53 : Répartition des trafics VL sur le réseau routier en 1994

	Statistiques nationales (ex Joumard, Lacour, 2002)	Statistiques ENT94 (deplts quotidiens)
Urbain	31,5%	19,6%
Route	46,9%	59,6%
Autoroute	21,6%	20,8%
Total	100%	100%

A partir de l'ENT94, fichier déplacements A. Chiffres redressés

La proportion de véhicules sur le réseau autoroutier étant très proche dans les deux cas, ce ne sont ni le fait que les données de Lacour, Joumard (2002) incluent le trafic VUL, ni le fait que le fichier « déplacement quotidiens » de l'ENT 1994 prend peut être moins bien en compte les longs déplacements qui jouent.

Lorsqu'on compare les proportions de trafic urbain et routier dans les deux cas, il semble plutôt que c'est une question de définition de ces deux réseaux qui intervient : la nomenclature officielle peut prendre en compte des espaces périurbains qui apparaissent comme non urbains (et sont donc qualifiés de « routiers ») pour les personnes interrogées dans l'Enquête Nationale Transport. Alors que le réseau autoroutier est bien repéré de la même façon par tous et que les trafics comptabilisés sont cohérents de part et d'autre, les réseaux urbains et routiers ne sont pas perçus de la même manière, et on constate un glissement d'une partie du trafic urbain vers le trafic routier lorsque l'on passe de la définition technique officielle à la perception générale de la population.

Si les vitesses préconisées par réseau étaient conservées comme telles, la répartition des trafics dans l'ENT94 conduirait alors à une vitesse moyenne de 62 km/h. Ce qui apparaît manifestement comme trop élevé...

b) Détermination des vitesses pour la mobilité quotidienne

Nous avons alors considéré qu'une vitesse moyenne globale de 52 km/h était un objectif correct. En conservant 110 km/h pour les autoroutes et compte tenu de la répartition des trafics par réseau dans l'ENT94, nous avons alors joué sur les vitesses en urbain et sur route pour converger sur 52 km/h en moyenne globale. Il existe une infinité de possibilités de couples de vitesses ; nous nous sommes arrêtés sur 26 et 60 km/h :

✓ Urbain 26 km/h

autoroute en 1996 est alors de 90,9, 136,7 et 59,7 milliards de veh.km : les kilomètres sont logiquement moindres, mais la structure des trafics est identique et l'on obtient la même vitesse moyenne de 52 km/h – ce que nous cherchons à établir ici.

Autre remarque méthodologique : compte tenu des différentes vitesses sur autoroute retenues par l'Ademe en fonction du type de véhicule, une vitesse moyenne de 110 km/h signifie une sureprésentation des diesel et des grosses cylindrées sur ce réseau. De fait, avec cette vitesse, la vitesse moyenne globale sur l'ensemble des réseaux est de 52,15 km/h ; redescendre à 105 km/h sur autoroute, ramène la vitesse globale moyenne 51,92 km/h... La discussion autour de la vitesse sur autoroute ne change donc rien par rapport à la vitesse moyenne de 52 km/h que nous retenons.

- ✓ Route 60 km/h
- ✓ Autoroute 110 km/h

Ce sont donc ces 3 vitesses qui ont servi de base de calcul dans les fonctions d'émissions et de consommation établies dans MEET (1999).

c) Détermination des vitesses et des distances par réseau pour la mobilité longue distance

Dans le cas des déplacements à longue distance, nous avons utilisé les indications fournies dans le fichier mobilité quotidienne pour établir ***une vitesse moyenne au réseau ville + route***. La proportion de l'un et de l'autre étant forcément différente avec la longueur du déplacement (et donc la vitesse calculée qui en découle), nous avons considéré différents cas :

	Répartition distance route/urbain	Vitesse moyenne
Plus de 100 km	0,92/0,08	54,2 km/h
50 – 100 km	0,91/0,09	53,8 km/h
Moins de 50 km	0,75/0,25	43,5 km/h

A partir de l'ENT94, fichier déplacements A. Chiffres redressés

Les vitesses utilisées pour calculer les émissions et consommations pour les déplacements automobiles à longue distance sont donc :

- Autoroute 110 km/h
- Urbain + Route
- Déplacements de moins de 50 km : 43 km/h
- Déplacements de plus de 50 km: 54 km/h

Les déplacements courts, qui correspondent à des boucles à l'intérieur d'un voyage plus long, sont relativement peu nombreux. Ainsi, les déplacements automobiles de moins de 50 km représentent un peu plus de 2,2% des déplacements automobiles mais, surtout, moins de 0,2% des distances parcourues. L'enjeu reste donc limité et l'on peut retenir que la vitesse moyenne utilisée est globalement de 54 km/h sur le réseau « urbain+route ».

Par ailleurs, alors que dans le cas des déplacements automobile « quotidiens », le détail des ***distances parcourues par réseau*** est systématiquement recueilli, cela n'est pas du tout le cas pour les déplacements à longue distance. Dans la moitié des cas (49,5%), et pour la moitié de la distance totale (50,0%), la répartition de la distance du déplacement entre « autoroute » et « route + urbain » n'est pas fournie. Pour dépasser ce manque, une répartition moyenne leur a été affectée, en fonction de la longueur du déplacement et à partir des 50% de déplacements correctement remplis.

	Route+urbain	Autoroute
≤50 km	93,6%	6,4%
50 – 100 km	74,4%	25,6%
100 – 250 km	55,9%	44,1%
> 250 km	35,2%	64,8%

A partir de l'ENT94, fichier déplacements B. Chiffres redressés

Etant établie à partir de 15 359 déplacements automobile correctement renseignés, cette répartition des distance entre autoroute et route+urbain dispose d'une base statistique largement suffisante pour ne pas affecter les résultats globaux en matière de calcul de vitesse et d'émissions. Par contre, les spécificités de chaque déplacement sont en partie gommées, et les émissions et consommations calculées s'en trouvent un peu nivelées.

3.3.3.3 Quelle est la sensibilité des résultats aux hypothèses de vitesse ?

Cette définition des vitesses reste malgré tout approximative et a été fixée faute de mieux. Elle correspond sans doute à l'hypothèse la plus forte que nous ayons rajoutée dans le processus de calcul, pour les déplacements automobile en particulier, mais aussi pour l'estimation globale des émissions et consommations compte tenu du poids de la voiture dans la mobilité de la population enquêtée.

Pour contrôler l'impact de cette hypothèse sur les calculs, nous l'avons faite varier de $\pm 10\%$ et nous avons observé la variation induite des émissions des automobiles. Ce calcul a été fait sur les déplacements du fichier « mobilité quotidienne », unimodaux, pour lesquels une voiture correctement renseignée (par rapport aux informations nécessaires aux calculs d'émission) a été utilisée.

Tableau 54 : Emissions unitaires moyennes estimées pour les automobiles

g/pass.km	Calcul de référence	Vitesses = -10%	Vitesses = +10%
	U=26km/h, R=60, A=110	U=23,4km/h, R=54, A=99	U=28,6km/h, R=66, A=121
CO	6,84	+1,6%	-1,6%
COV	0,94	-4,7%	+5,4%
NOx	0,90	+3,0%	-5,3%
PM	0,05	+1,2%	+1,6%
CO2	103,9	+1,2%	+0,5%
Consommation	38,2	+1,3%	+0,2%

Pour CO, COV et NOX, les variations des émissions sont symétriques entre une augmentation et une baisse simulée des vitesses. En matière énergétique, de CO2 et de particules, lorsque l'on baisse les vitesses de 10 %, les surconsommations et surémissions en urbain dépassent les gains obtenus sur autoroute ; par contre, lorsqu'on les augmente de 10% les gains en urbain sont alors à peine compensés par les surémissions et surconsommations sur autoroute...

Par ailleurs, on peut constater que les variations globales induites restent faibles, notamment pour le CO2 et l'énergie qui nous préoccupent le plus dans le projet ETHEL.

Les hypothèses de vitesse qui ont été posées jouent donc de manière sans doute limitée sur les résultats globaux. Il existe une sensibilité plus importante sur les hypothèses de vitesse sur autoroute et en urbain, mais les conséquences d'une erreur plus forte sur l'une d'entre elle seront amorties par l'inertie liée au trafic sur les deux autres réseaux.

3.3.4 L'affectation des émissions moyennes aux véhicules mal renseignés

Enfin, plus d'un quart d'automobiles n'avaient pas toutes leurs caractéristiques techniques d'indiquées, que ce soit l'âge, la cylindrée ou le carburant : ils représentent respectivement 29% et 26% des distances automobile parcourues en mobilité quotidienne et à longue distance.

Les niveaux d'émissions moyens en fonction de la distance du déplacement ont alors été calculés à partir des véhicules correctement décrits pour être appliqués aux autres.

Tableau 55 : Emissions unitaires moyennes estimées pour les automobiles mal renseignées : cas de la mobilité quotidienne

<i>g/pass.km</i>	<5 km	5-10 km	10-20 km	20-50 km	+50 km	<i>moyenne</i>
CO	21,07	13,37	8,87	5,28	2,29	6,84
NOx	1,04	1,09	1,08	0,98	0,80	0,94
COV	2,99	1,65	1,12	0,70	0,31	0,90
PM	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05
CO2	150,65	130,51	112,29	102,87	83,55	103,94
Consommation	63,17	51,15	42,31	36,86	28,58	38,24

3.4 Conclusion

L'enjeu en matière d'évaluation des émissions liées à la mobilité des personnes concerne d'abord la finesse des données sur l'automobile : c'est le mode dominant qui permet de réaliser les ¾ des distances parcourues par les Français.

Dans ce cas précis de la voiture, la méthodologie MEET d'une part, les informations fournies par l'ENT94 d'autre part, apportent une bonne fiabilité aux résultats. Les chiffres agrégés apparaissent maîtrisés et convergent bien avec les travaux et estimation réalisés par ailleurs (Cf. ADEME, 2003, ou Lacour, Joumard, 2002). Deux hypothèses font par contre sans doute perdre un peu de leurs spécificités aux émissions liées à chaque déplacement pris individuellement :

- ✓ Les vitesses retenues sont des vitesses moyennes par type de réseau routier (autoroutier, routier ou urbain ; voire une moyenne routier+urbain pour les déplacements du fichier longue distance). Ces moyennes ne correspondent pas forcément aux conditions de circulation particulières rencontrées lors du déplacement considéré.

Dans ce même ordre de contrainte, soulignons également que les longs déplacements VP n'ont pas toujours été bien renseignés, nécessitant souvent de re-répartir la distance parcourue entre autoroute et route+urbain.

- ✓ Les caractéristiques techniques n'étaient pas indiquées pour plus de $\frac{1}{4}$ des véhicules et il a fallu leur affecter des émissions moyennes. Le détail de ces émissions en fonction de la distance parcourue a permis de prendre en compte les effets liés à l'impact différencié des émissions à froid ainsi qu'à la structure des distances par type de réseau. Il n'en reste pas moins que, là encore, les spécificités ont été en partie gommées.

Concernant les autres modes, avec d'abord l'avion (11% des distances) puis le train (4,5%) et l'autocar (3,5%), les émissions unitaires utilisées ont également été construites à partir de MEET ou de travaux qui prolongeaient ce programme de recherche. Les chiffres finalement retenus sont cohérents avec ce que l'on trouve dans la littérature.

Les estimations obtenues pour chaque déplacement de l'ENT94 apparaissent donc satisfaisantes pour la suite du projet ETHEL, compte tenu des informations disponibles. Notamment les spécificités de chaque déplacement (distances parcourues, particularités techniques du mode utilisé,...) sont prise en compte. Elles devraient permettre une analyse fine des résultats en les mettant en regard des caractéristiques socio-économique des personnes qui se sont ou non déplacées et qui ont ou non émis du CO₂ et consommé de l'énergie fossile pour leur mobilité.

4 Illustrations BETEL

Sur la base des méthodologies transport et habitat présentées dans les deux précédentes parties, quelques résultats issus de l'application de ces méthodes de calcul sont présentés ici.

La première section présente, pour le volet transport, les calculs d'émissions issus du croisement de plusieurs critères socio-économiques retenus pour leur portée explicative. Ces calculs sont effectués sur la base des données de l'Enquête Nationale Transport. La seconde section présente, parallèlement, quelques résultats agrégés croisant consommations unitaires et données de l'enquête logement.

4.1 Illustration BETEL : volet transport

La méthodologie décrite dans la troisième partie de ce rapport permet de calculer les émissions de CO₂ associées à tout déplacement, selon son mode et le kilométrage parcouru. Appliquée aux déplacements recueillis dans le cadre de l'Enquête Nationale Transport (1993-1994) (ENT 94 dans ce qui suit), elle permet de calculer les émissions liées à la mobilité de certaines catégories de la population, de certains « types d'émetteurs ». La démarche suivie pour illustrer le volet Transport du BETEL consiste à élaborer plusieurs « typologies d'émetteurs » exhibés selon des critères socio-économiques, ou spatiaux pertinents. Ces variables peuvent être déterminantes en matière d'émissions et discriminants dans la mesure où elles permettent d'exhiber des variables explicatives.

L'ENT 94 a été retenue pour illustrer la méthodologie BETEL transport, car, à la différence des enquêtes ménages, qui considèrent les déplacements dans une agglomération donnée, l'ENT 94 traite de tous les types de déplacements, toutes les mobilités (incluant les déplacements de plus de 80km). Elle permet ainsi de dessiner un portrait global de la mobilité (qui n'exclut pas la longue distance, par exemple). Ainsi, l'enquête permet-elle de distinguer deux types de mobilité :

- la mobilité locale : elle fait référence à la mobilité de semaine et du week-end reprenant les données recueillies par l'Enquête (cette définition élargit la définition couramment retenue de la mobilité quotidienne souvent réduite à la mobilité de semaine).
- la mobilité longue distance : les déplacements effectués à plus de 80 km du domicile⁴⁴.

Quatre typologies ont été retenues. Pour chacune d'entre elles les émissions (kg de CO₂/an) sont présentées globalement puis pour chaque segment ou type de mobilité :

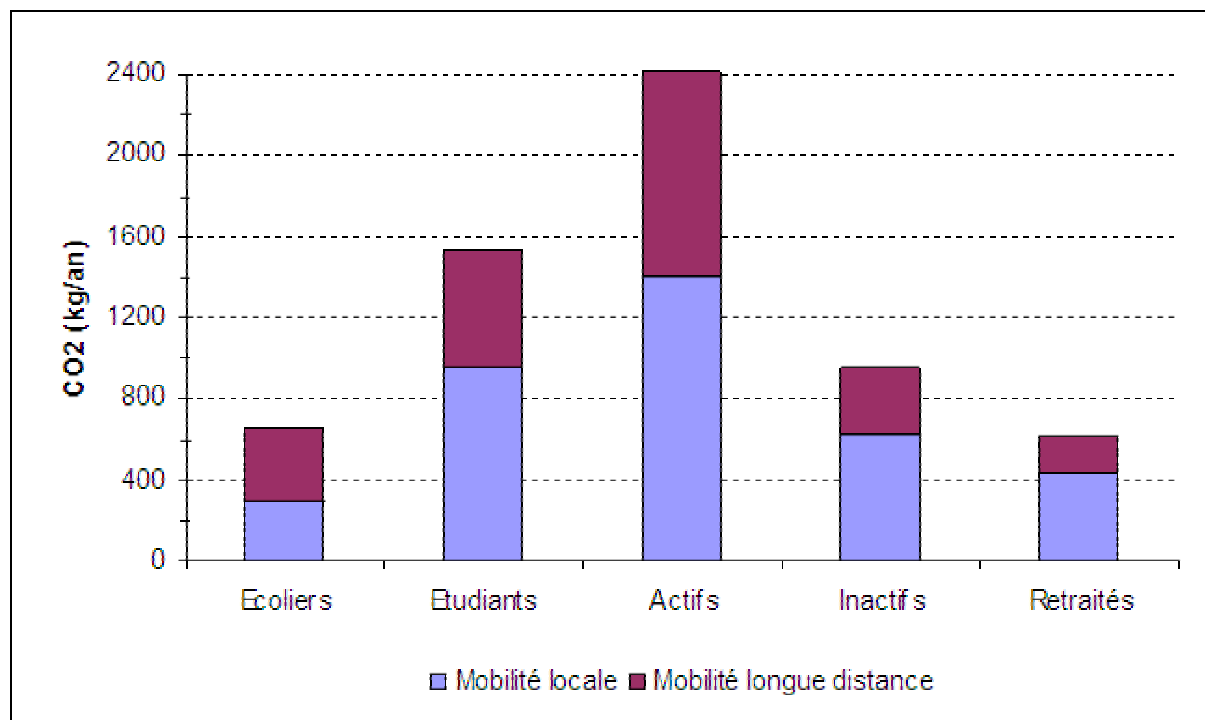
- le statut ou la situation socioprofessionnelle
- le revenu
- la localisation
- la taille de l'agglomération

⁴⁴ Au moment de l'enquête, un tirage au sort est effectué. Le premier tirage au sort vise à identifier le membre du ménage qui sera interrogé sur ses déplacements de la veille et du week-end (dit personne A), le second, celui (personne B) qui sera enquêté sur ses déplacements longue distance.

4.1.1 Analyse globale (mobilité globale et locale)

Quel que soit le statut des individus, les émissions liées à la mobilité locale dépassent celles imputables aux déplacements longue distance (cf. Figure 60). Les actifs constituent la catégorie socioprofessionnelle dont les émissions de CO₂ sont les plus élevées avec 2409 kg de CO₂ émis par an. Leurs émissions sont près de 2,4 fois plus élevées que celles que les inactifs, et près de 4 fois supérieures à celles des retraités, et ce, que l'on considère la mobilité longue distance (qui représente 41% de leurs déplacements) ou la mobilité locale (59% de leurs déplacements). Leur motorisation et leur usage de la voiture permettent d'expliquer cette position (ils se déplacent plus...et en voiture). Ces facteurs permettent probablement d'expliquer le niveau également élevé des émissions des étudiants, ayant accès à la voiture. La part dominante (54%) de la mobilité longue distance dans les émissions des écoliers, peut être expliquée par la répartition modale de leur mobilité locale (part des TC et des modes doux), qui est faiblement émissive, alors que les déplacements longue distance avec leurs parents (week-ends, vacances) favorisent les modes les plus émissifs.

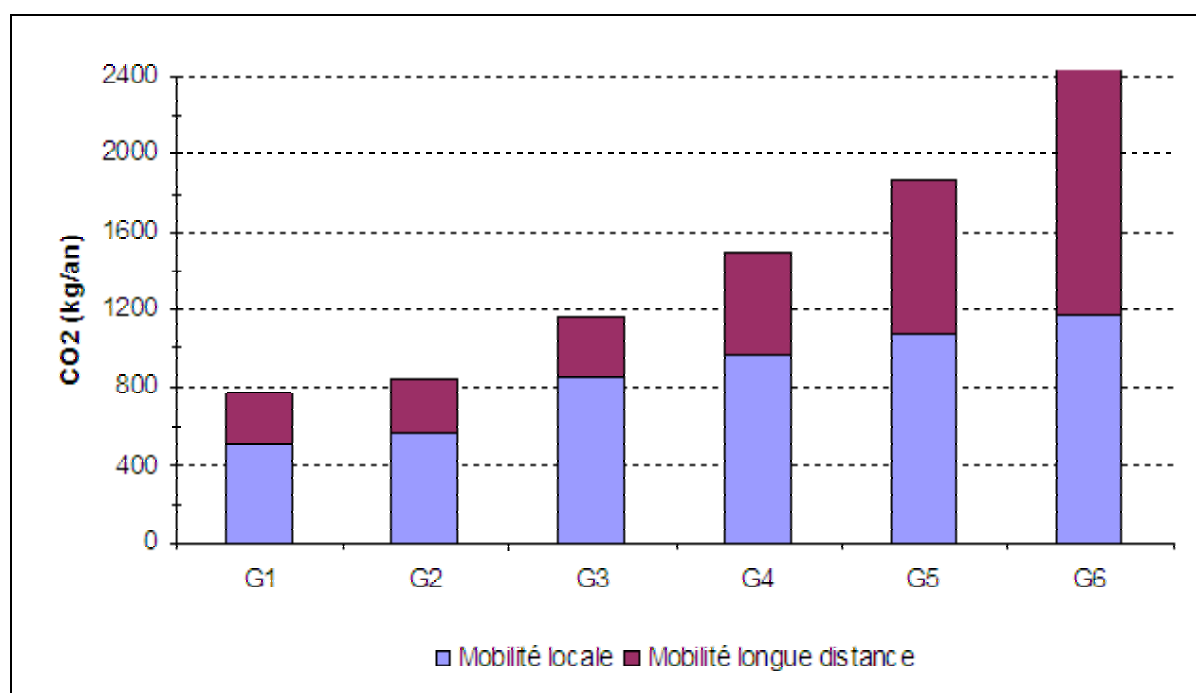
Figure 60 : Emissions mobilité globale selon le statut



Source: David (2005)

Derrière cette variable de statut, l'impact du revenu est déterminant. Entre le sextile des revenus les plus élevés (G6) et les deux plus faibles (cf. Figure 61), le facteur d'émission est de 3 (soit 800 kg de CO₂ par an en moyenne pour les classes G1 et G2, contre 2400 kg de CO₂/an pour la classe G6). Plus le revenu croît, plus la part de la mobilité longue distance dans les émissions croît (elle représente 55% des émissions de la classe la plus aisée). On peut cependant noter que les émissions de la mobilité longue distance croissent plus fortement selon le revenu. Les émissions suivent une progression quasi exponentielle pour la longue distance, alors qu'elle est plutôt linéaire pour la mobilité locale.

Figure 61 : Emissions mobilité globale selon le revenu



Source: David (2005)

Outre les variables socio-économiques, une troisième a un impact sur les distances parcourues et donc les émissions : la localisation du lieu de résidence. Pour mettre en évidence l'impact de cette variable, une typologie distinguant différents types d'espace a été élaborée. Elle distingue le rural et l'urbain. Puis, pour appréhender plus finement les espaces urbains et périurbains, une typologie plus fine associant densité et distance au centre de l'aire urbaine⁴⁵) a été construite sur la base d'une segmentation de la population selon la distance parcourue. Elle permet de distinguer trois types de localisations urbaines correspondant à trois types de résidents, périurbains, urbains périphériques, urbains centraux.

⁴⁵ Notion d'aire urbaine au sens de l'INSEE : Une aire urbaine est un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci.

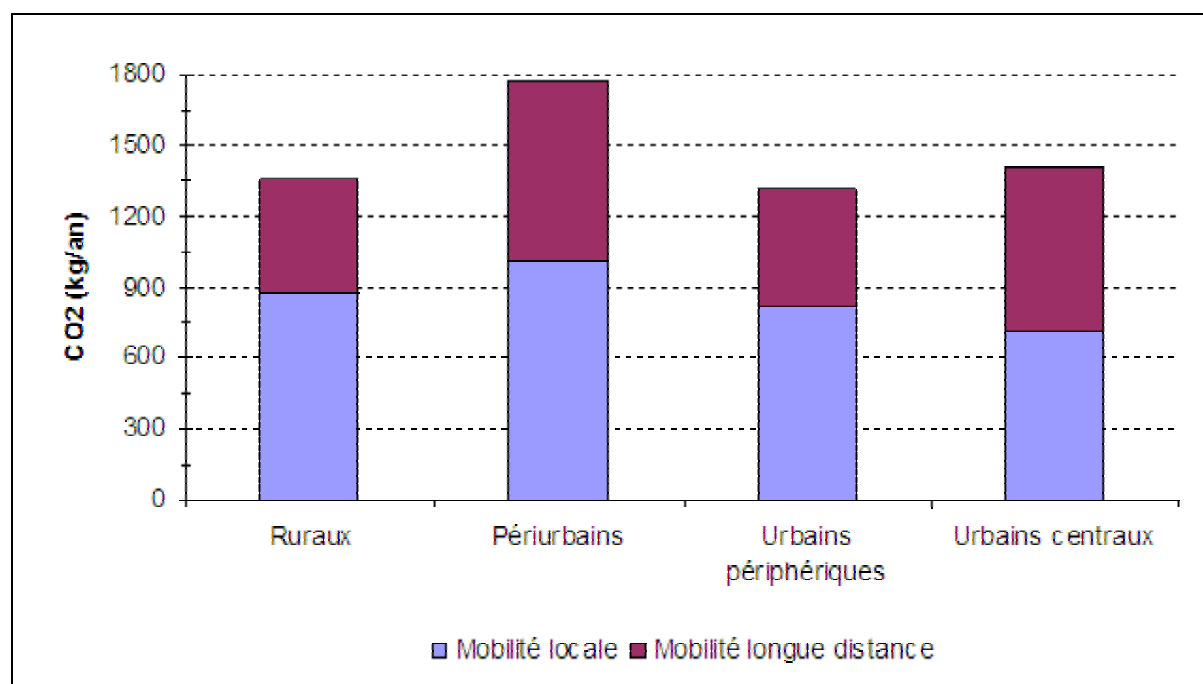
Tableau 56 : Typologie de la localisation urbaine des individus pour les mobilités locale et longue distance

Densité (hab/km ²)	DISTANCE AU CENTRE (KM)		
	0 - 5	5 - 15	> 15
0 - 100	<i>périurbains</i>		
100 - 500			
500 - 3000			
> 3000	<i>urbains centraux</i>		

Le type d'espace de résidence des individus semble la variable la moins discriminante des variables examinées jusque là (les émissions calculées pour chaque modalité sont comprises entre 1316 et 1766 kg de CO₂ par an).

On peut cependant constater que les périurbains émettent plus que les autres, que l'on considère leur mobilité locale (qui représente l'essentiel de leurs émissions, soit 57%) ou leur mobilité globale. Les "urbains centraux", bien que leurs émissions locales soient les plus faibles, occupent la deuxième position en raison de la forte part de leur mobilité longue distance dans leurs émissions globales (50% de leurs émissions). Ces deux classes d'individus sont aussi celles dont le revenu moyen est le plus élevé. Si le revenu moyen des ruraux est le plus faible, l'effet localisation/motorisation explique le niveau élevé des émissions liées à la mobilité locale.

Figure 62 : Emission mobilité globale selon le type d'espace

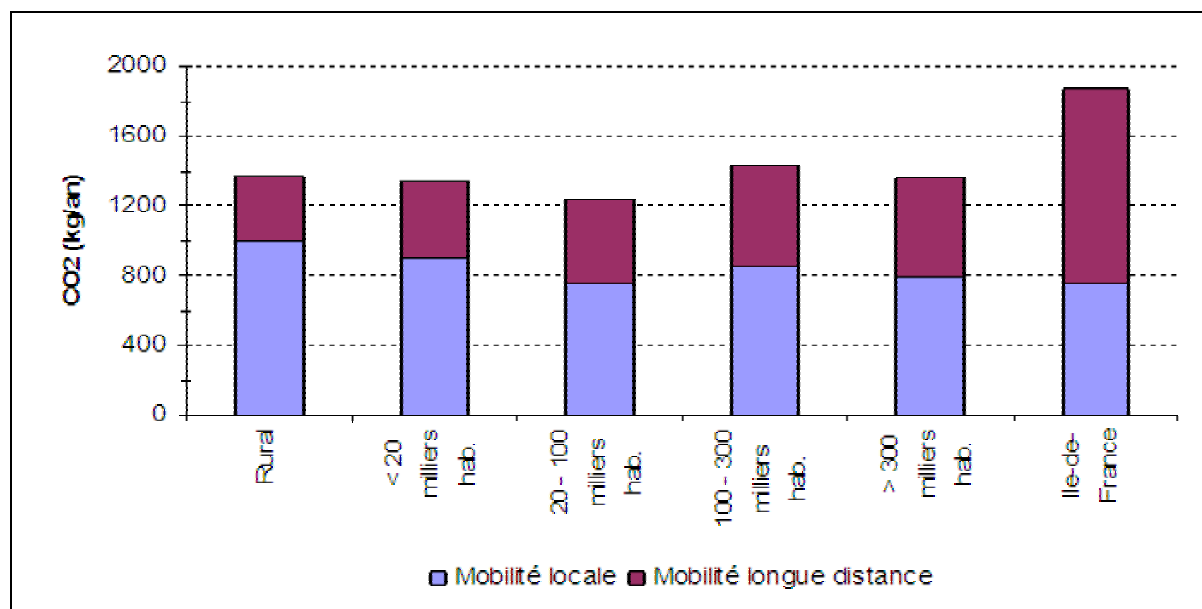


Source: David (2005)

Considérer la taille de l'agglomération de résidence, permet de distinguer la situation singulière de l'Ile-de France, pour laquelle les émissions sont supérieures de plus de 30% aux

émissions des habitants des autres types d'agglomération). Cette position est le fait de la part de la mobilité longue distance (qui représente 60% des émissions), mobilité corrélée au revenu comme nous le verrons.

Figure 63 : Emissions mobilité globale selon la taille de l'agglomération



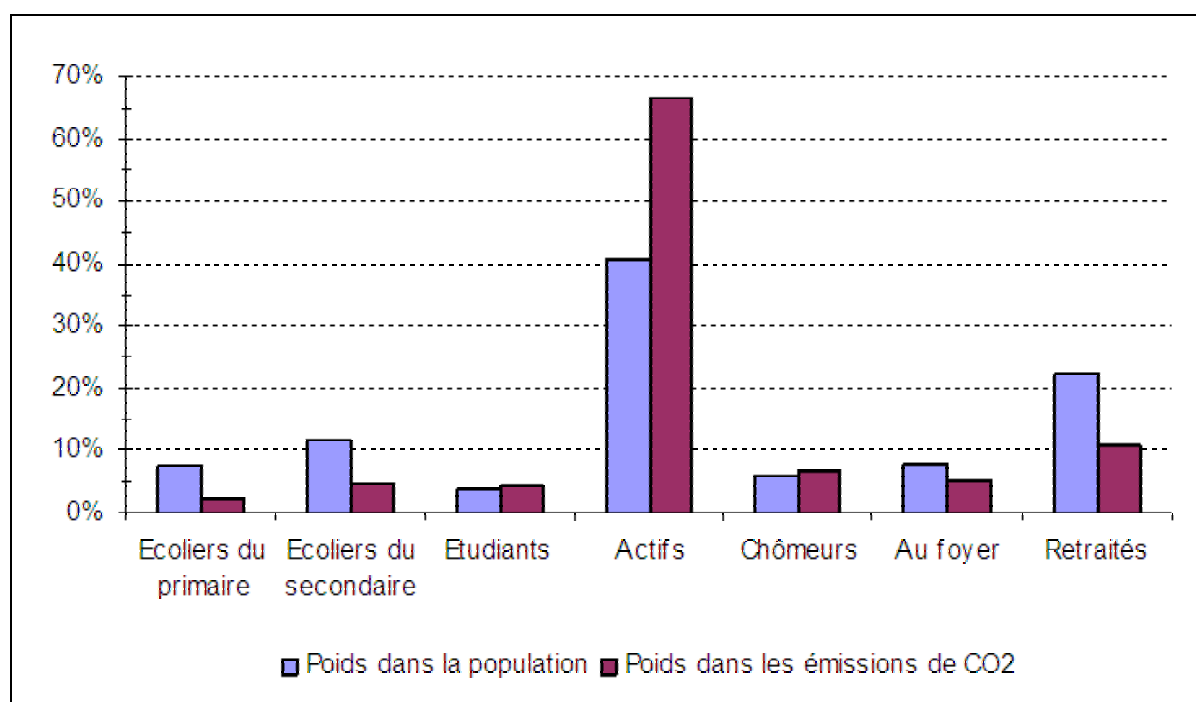
Source: David (2005)

4.1.2 Analyse de la mobilité locale

Si l'on considère la seule mobilité locale, la part des actifs dans les émissions est prédominante : ils sont à l'origine de 70% des émissions. La part de la mobilité domicile-travail et un usage supérieur de la voiture, expliquent cette position.

L'accès à la voiture (corrélé au revenu et à l'activité) est un élément déterminant (rapport de 1 à 4 entre les émissions moyennes des individus non motorisés et motorisés). La motorisation (qui suppose la possession du permis de conduire et à l'accès à un véhicule) permet d'expliquer la faiblesse des émissions liées à la mobilité locale pour les inactifs (non motorisés), les retraités et les personnes au foyer.

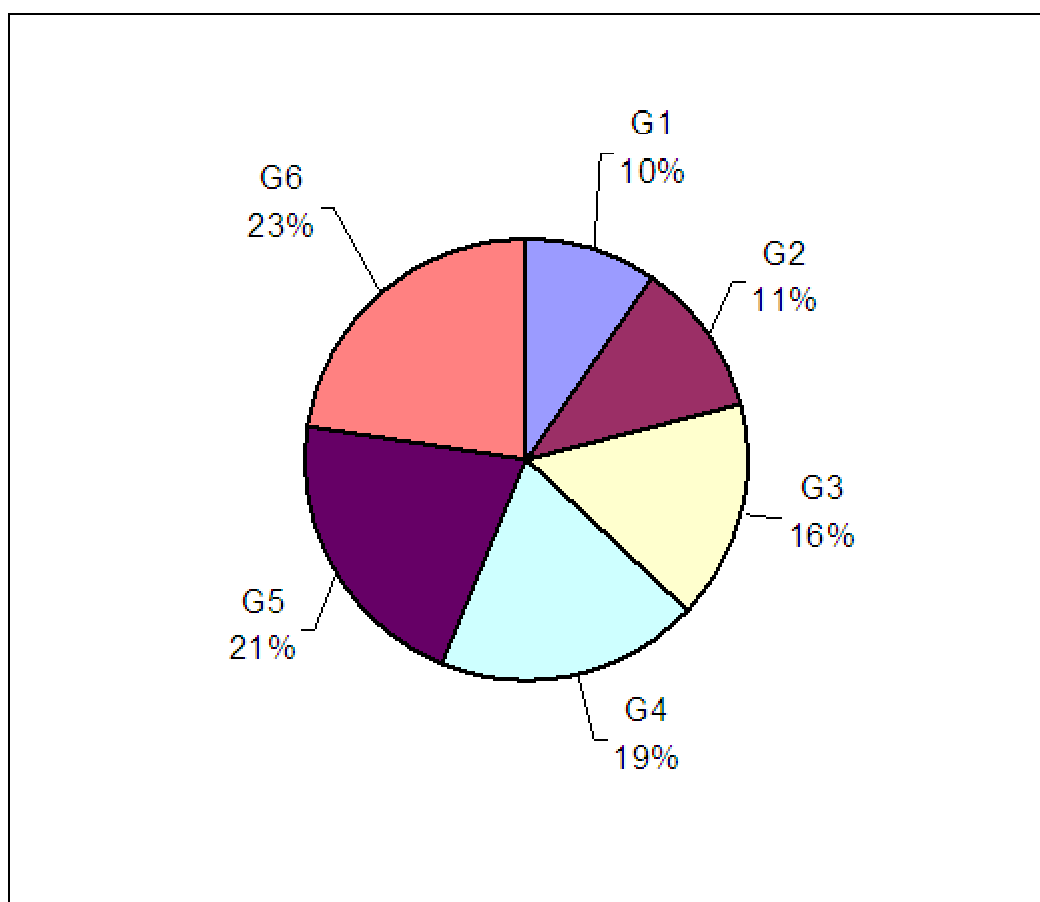
Figure 64 : Emissions mobilité locale selon le statut



Source: David (2005)

Les individus dont le revenu est le plus élevé (sextile G6 de la Figure 65) tendent à émettre davantage. On peut relever que les actifs – caractérisés par la part des trajets domicile-travail dans leur mobilité - sont également largement représentés parmi les ménages ayant les revenus les plus élevés. Ces ménages sont également les plus motorisés (peu n'ont pas de voiture), voire multi-motorisés. La Figure 65 suggère que les émissions croissent avec le revenu : le sextile G6 contribue à près du quart des émissions, alors que le sextile G1 (correspondant aux ménages les plus modestes) contribue à hauteur de 10%.

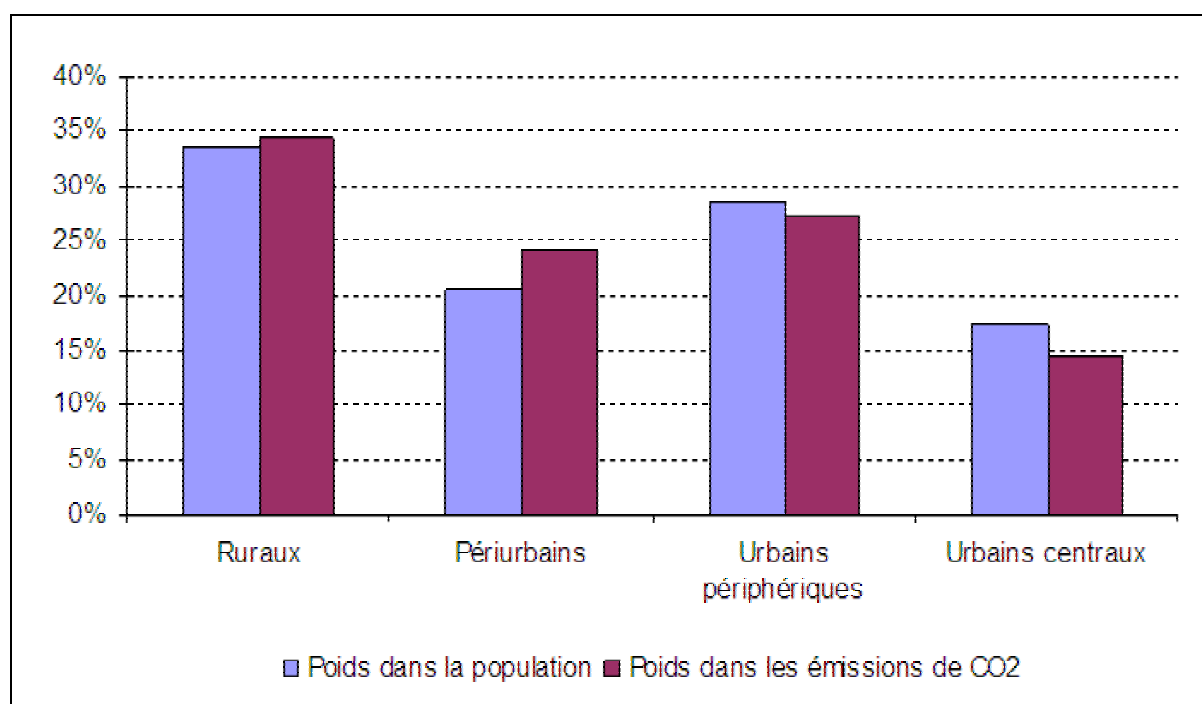
Figure 65 : Emissions mobilité locale selon le revenu



Source: David (2005)

L'impact de la localisation (au sens de la typologie que nous avons présentée; ruraux, périurbain, urbains centraux ou périphériques) sur les émissions semble jouer de façon sensible pour la mobilité locale. La part relative des ruraux dans les émissions est de 34,3%, alors que celle des urbains centraux est de 14,4%. Les périurbains sont en revanche ceux pour lesquels les émissions hebdomadaires unitaires sont les plus élevées (20,3 kg de CO₂). La part des ruraux et des périurbains est liée à leurs distances domicile-travail (leur éloignement des zones plus denses et plus centrales qui concentrent emplois, services, etc.), ainsi qu'à la multimotorisation de ces ménages.

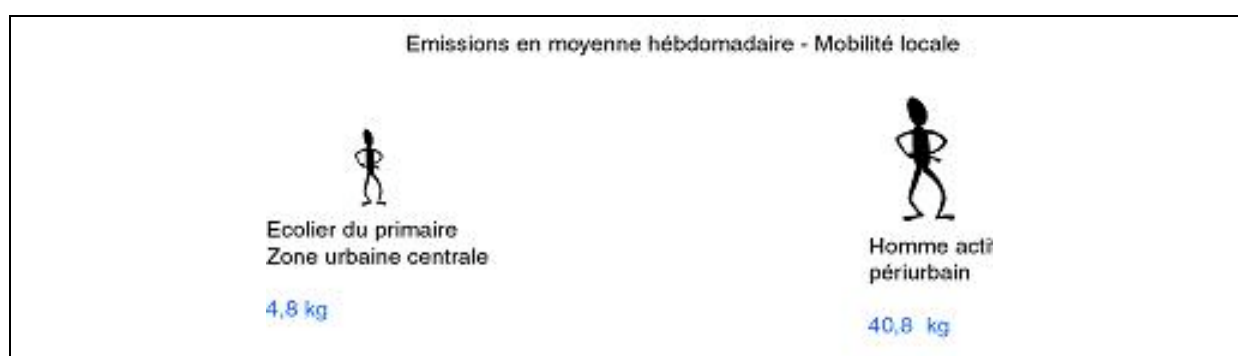
Figure 66 : Emissions mobilité locale selon le type d'espace



Source: David (2005)

Au final, si l'on croise l'ensemble des variables (notamment statut et localisation), les facteurs déterminants en matière de mobilité locale sont liés aux localisations et au statut (actif/inactif). Ainsi, les niveaux d'émission s'échelonnent entre les deux cas polaires illustrés par le schéma ci-dessous (Figure 67).

Figure 67 : Emission en moyenne hebdomadaire pour la mobilité locale croisant plusieurs variables

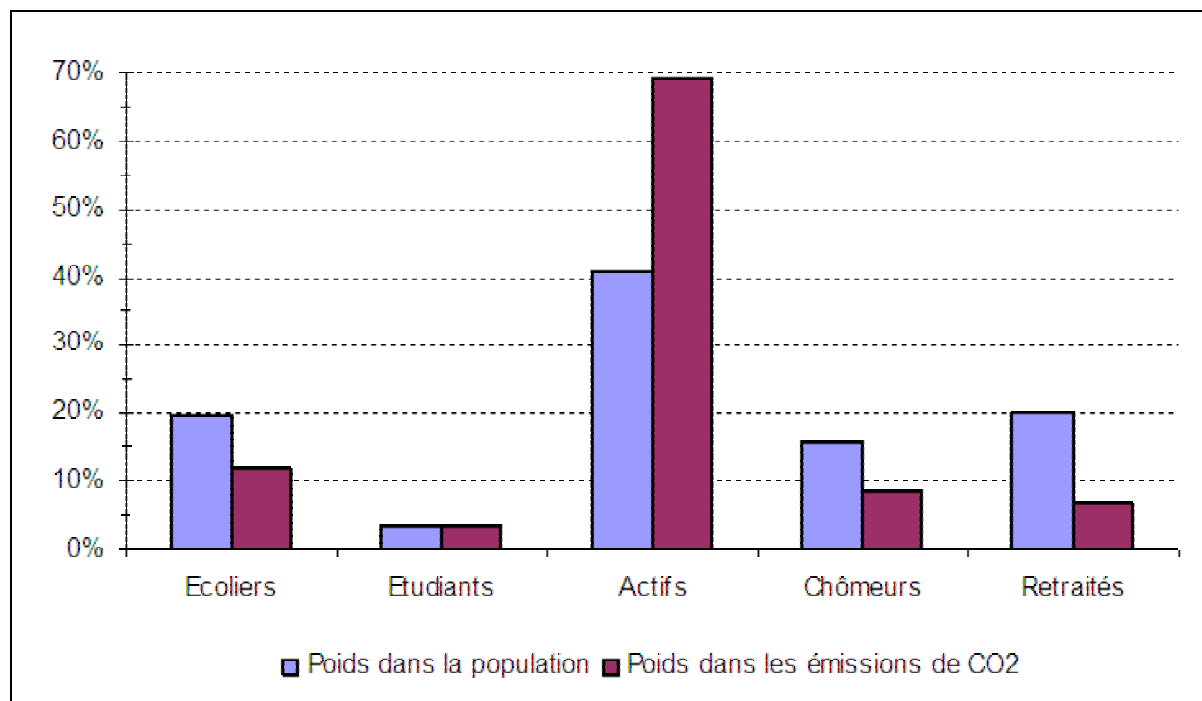


4.1.3 Mobilité longue distance

Comme c'était le cas pour la mobilité locale, les émissions liées à la mobilité longue distance des actifs sont jusqu'à 5 fois supérieures à celles des autres statuts (les actifs sont responsables de 70% des émissions, cf. Figure 68). La position des écoliers (deuxième groupe

d'émetteurs) peut être expliquée par la dépendance de leur propre mobilité longue distance (liée aux loisirs et aux vacances) vis-à-vis de celle de leurs parents.

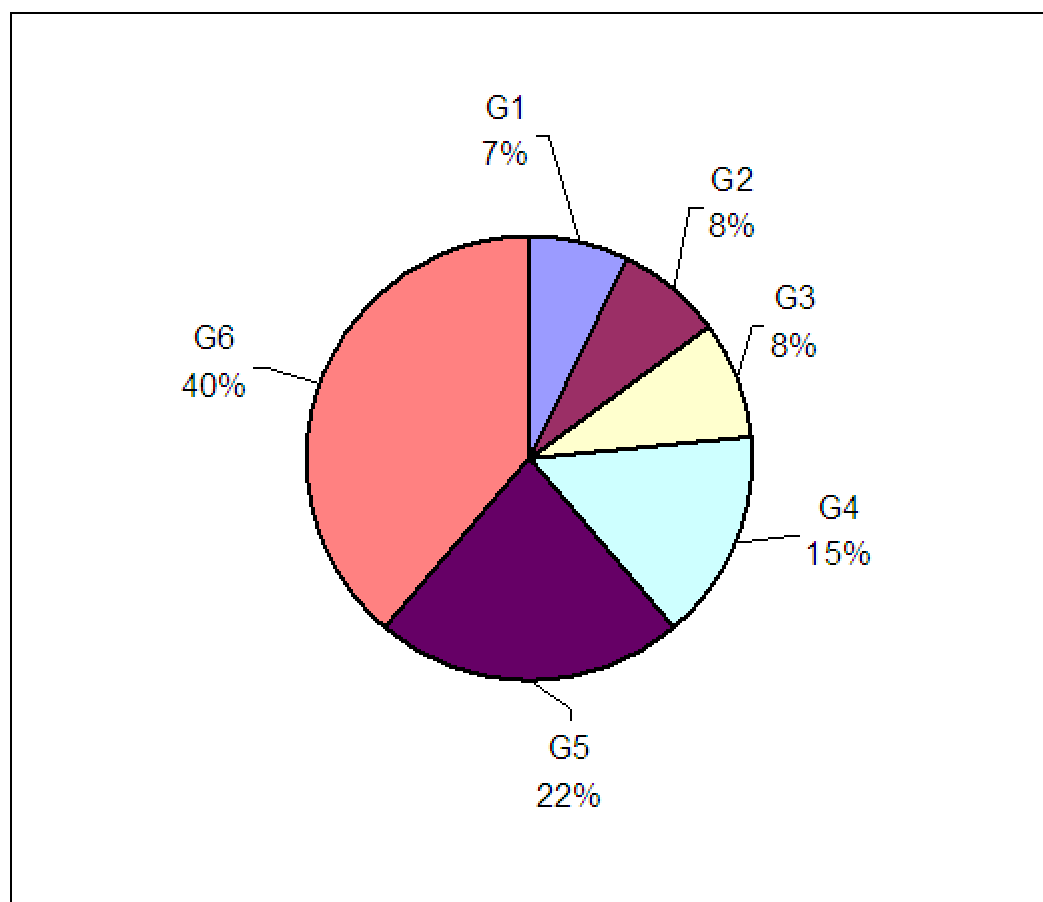
Figure 68 : Emissions mobilité longue distance selon le statut



Source: David (2005)

L'effet du revenu est, pour la mobilité longue distance, plus significatif encore que pour la mobilité locale, et ce, d'autant plus, à mesure que le revenu croît. Le sextile des classes les plus aisées représente 40% des émissions. L'effet du revenu sur la mobilité longue distance (soit, *a priori*, des déplacements qui ne relèvent pas d'une mobilité « incompressible »), et sur le choix modal (du train et de l'avion), permet d'éclairer ce résultat.

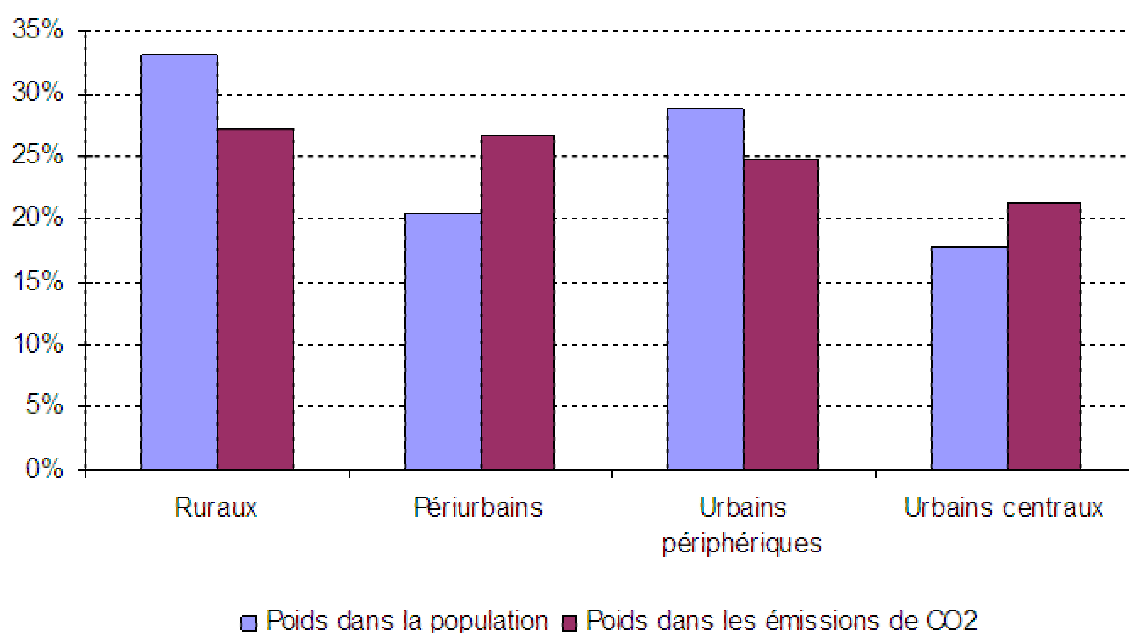
Figure 69 : Emissions de la mobilité longue distance selon le revenu



Source: David (2005)

L'impact de la localisation joue tel que nous l'avons déjà souligné : les périurbains et les urbains centraux émettent individuellement davantage dans le cadre de leur mobilité longue distance. Cela est d'autant plus vrai des franciliens qui émettent trois fois plus que les ruraux pour leur mobilité longue distance (1121 kg de CO₂ par an contre 377 pour les ruraux). L'accès à la voiture, au train, à l'avion, est facilité physiquement (accessibilité aux gares et aéroports) et financièrement pour les urbains centraux, et les résidents des agglomération de taille importante.

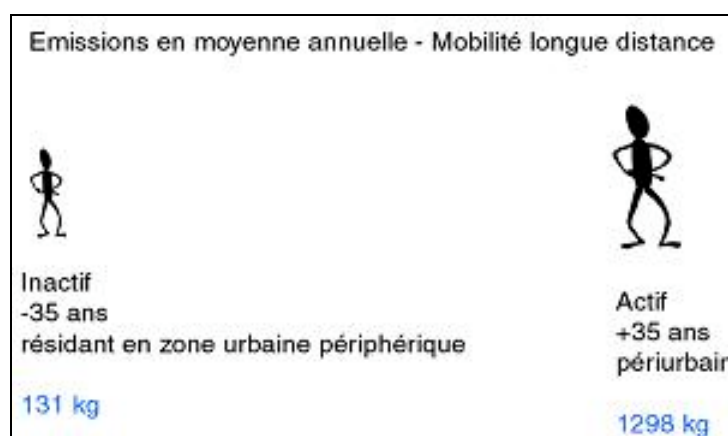
Figure 70 : Emissions mobilité longue distance selon le type d'espace



Source: David (2005)

Là encore, si l'on croise l'ensemble des variables (notamment statut et localisation), les niveaux d'émission s'échelonnent entre les deux cas polaires illustrés par le schéma ci-dessous (Figure 71).

Figure 71 : Emission en moyenne annuelles pour la mobilité longue distance croisant plusieurs variables



Au final, les émissions liées à la mobilité longue distance sont caractérisées par le poids des actifs et la prépondérance de l'effet du revenu. Si les urbains centraux et les périurbains sont les plus mobiles en longue distance, c'est en partie lié au revenu du ménage. Concernant la mobilité locale, l'activité et le fait de résider dans des zones peu denses et éloignées du centre conduit à parcourir des distances supérieures et favorise l'usage de la voiture. Au final l'effet,

du revenu (sur la motorisation et les usages) et l'effet contrasté de la localisation sont à relever.

In fine, les enjeux en matière de réduction des émissions de CO₂ se situent principalement au niveau des actifs, des périurbains et des ruraux dans le cadre de la mobilité locale, du revenu dans le cadre de la mobilité longue distance.

4.2 Illustration BETEL : volet habitat

L'illustration de la méthodologie BETEL habitat, est centrée sur les émissions liées au seul besoin de chauffage (celui qui concentre l'essentiel des enjeux). Elle est conduite en trois temps. En premier lieu, les facteurs unitaires d'émission, tels qu'estimés par le modèle théorique, sont présentés. L'impact des déterminants principaux de la surface du logement (facteur essentiel à l'estimation des besoins de chauffage) est ensuite estimé. *In fine*, des résultats agrégés croisant consommations unitaires et déterminants clés sont présentés, sur la base de calculs effectués à partir des données de l'enquête logement.

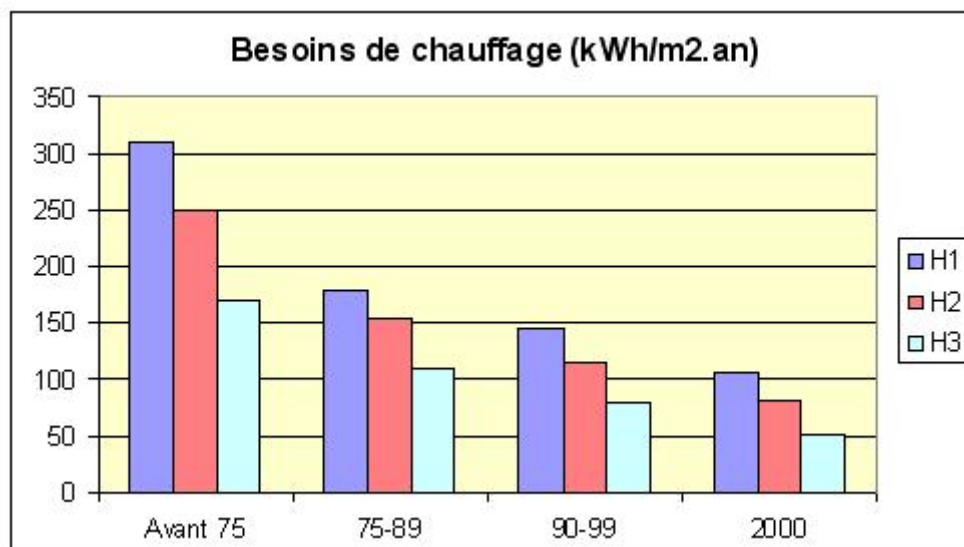
4.2.1 Analyse des consommations unitaires de chauffage

Les consommations unitaires, qui représentent la performance du logement en regard du chauffage, exprimées en kWh/m².an, dépendent de plusieurs paramètres, dont le climat (représenté par la zone climatique cf. Figure 83), la typologie de logement retenue (maison individuelle/immeuble collectif), le type d'installation de chauffage (chauffage central collectif, chauffage central individuel, appareil indépendant de chauffage) et la période de construction, notamment depuis l'instauration de la première réglementation thermique en 1975.

L'estimation théorique des besoins de chauffage, considérant une installation qui produirait une température intérieure constante de 19° avec un rendement de distribution égal à 1, montre une sensibilité forte à la zone climatique, ainsi qu'à la période de construction : dans le cas de la maison individuelle, les extrêmes (logement ancien en zone H1 et logement neuf répondant à la RT2000 en zone H3) correspondent à des besoins variant de 6 à 1 (Figure 72). En excluant la dernière étape réglementaire, le rapport entre extrêmes se limite à 3,8. Sur la base des besoins unitaires de chauffage (qui expriment la performance du bâti hors équipement de chauffage), les écarts entre extrêmes s'établissent comme suit :

- effet climatique : -45% ;
- effet période de construction (hors RT2000) : -54%.

Figure 72 : Estimation des besoins de chauffage de la maison individuelle pour trois zones climatiques et pour quatre périodes de construction.

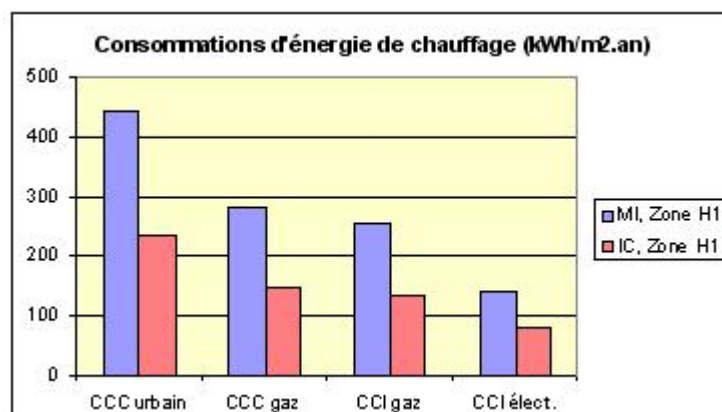


Les typologies de logements et d'équipements de chauffage se traduisent également par une grande variabilité des consommations : pour les logements construits de 1968 à 1974, la surconsommation due à l'équipement collectif de chauffage peut atteindre 10 ou 15%, par rapport à un chauffage central individuel, et 50 à 60% dans le cas d'un réseau de chaleur urbain. Cette valeur approche 75% dans le cas du chauffage urbain appliqué à la maison individuelle (Figure 73). Pour une zone climatique (H1) et une période de construction (1968 à 1974) données, les écarts s'établissent comme suit :

- effet typologique (MI ou IC) : -48% ;
- effet équipement : -67%.

Ce dernier écart traduit en partie l'effet « chauffage électrique », qui peut dans certains cas aboutir à des réductions de consommation d'énergie de chauffage supérieures à 50%.

Figure 73 : Estimation des consommations de chauffage pour la zone H1, pour quatre types d'équipements de chauffage.



Logements construits de 1968 à 1974.

CCC : chauffage central collectif

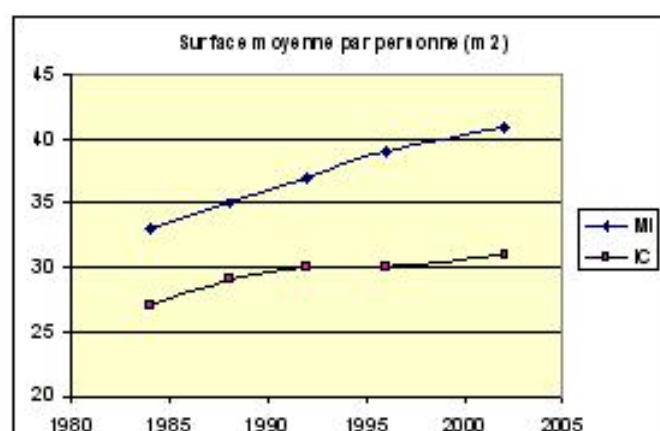
CCI : chauffage central individuel

4.2.2 Analyse des déterminants principaux de la surface des logements

4.2.2.1 Importance de la typologie

Dans l'exercice BETEL Habitat en cours, les scénarios doivent pouvoir se distinguer par le poids réciproque de la maison individuelle et de l'appartement en immeuble collectif, qui conduisent à des conditions de logement, en surface, notablement différentes. La surface habitable par personne en maison individuelle, de 22% supérieure à celle de l'immeuble collectif en 1984, atteint 41 m² en 2002, pour 31 m² en immeuble collectif, soit une différence de 32% (Figure 74).

Figure 74 : Evolution des surfaces habitables de la maison individuelle (MI) et du logement en immeuble collectif (IC), en m²/personne.

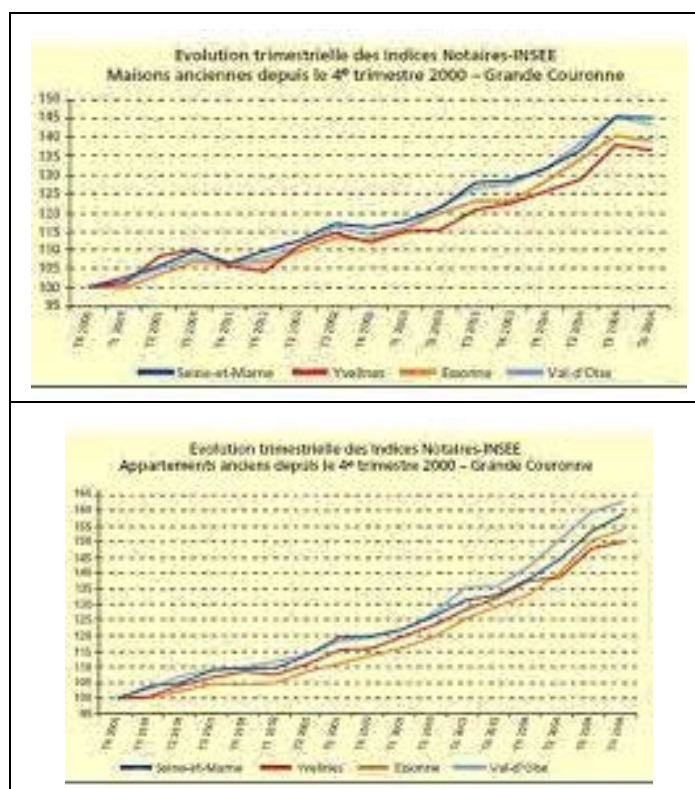


Les perspectives semblent difficiles à tracer sur cette base, puisqu'il faut tenir compte de deux tendances opposées :

- l'effet de la décohabitation, la taille des ménages diminuant constamment, en raison notamment du vieillissement de la population, qui fait croître la surface disponible par personne ;
- de l'effet de la charge foncière et du marché immobilier, qui tend à réduire les surfaces.

Cette dernière tendance est récente, puisque ces dernières années, le prix des appartements a crû plus vite que celui des maisons individuelles (Figure 75). Le renchérissement prévisible des coûts d'exploitation (énergie, eau), ou les nécessaires ajustements du bâti et des équipements, concourront sans doute à des effets similaires. La taille du logement est déterminante pour l'estimation des consommations d'énergie de chauffage et des émissions de gaz à effet de serre qui en découlent.

Figure 75 : Evolution des prix des maisons anciennes et des appartements anciens en Grande Couronne



Source : Chambre des notaires de Paris, Seine Saint-Denis, Val de Marne

La tendance à la croissance continue des logements semble connaître une légère inflexion. La Chambre des Notaires de Paris relève que le niveau des prix pratiqués en 2004 « commence à peser sur la solvabilité des ménages, lesquels, pour concrétiser leurs désirs

d'accession, se voient contraints, depuis plusieurs trimestres, d'opter pour des logements plus petits ou de s'éloigner du centre de l'agglomération »⁴⁶.

4.2.2.2 Importance du cycle de vie de la population

L'effet de l'âge sur les conditions de logement peut être mis en évidence, par le nombre de pièces par personne. Celles-ci ont été reconstituées à partir des données moyennes, en appliquant un coefficient caractérisant le type de logement, individuel ou collectif (tableau).

Tableau 57 : Nombre de pièces par personne en 1999, selon l'âge et le type de logement
(MI ou IC)

Age	0-14 ans	15-19 ans	20-24 ans	25-59 ans	60-64 ans	65 ans ou plus
NP/pers MI.	1,27	1,38	1,50	1,84	2,41	2,52
NP/pers IC	0,99	1,08	1,17	1,44	1,89	1,97

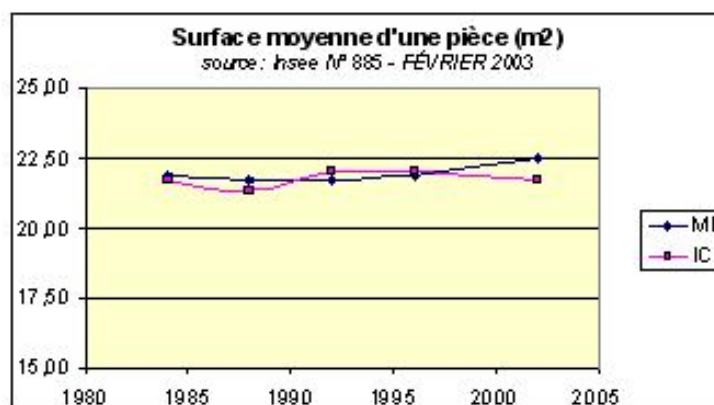
La surface habitable peut être déduite de ce tableau, à condition d'évaluer la surface d'une pièce.

4.2.2.3 Surface d'une pièce

Les données statistiques disponibles, de 1984 à 2002, n'indiquent pas de variation notable de la surface d'une pièce, ni dans le temps, ni entre les deux types de la maison individuelle et de l'immeuble collectif (Figure 76). Pour cette raison, la surface stabilisée à 22 m² pourra être adoptée dans un premier temps pour le modèle de parc. Il est en effet délicat de prolonger la tendance récente, entre 1998 et 2002, de l'augmentation statistique de la surface d'une pièce en maison individuelle (de 2,83% en quatre ans). Si ce taux est maintenu jusqu'en 2050, la surface d'une pièce pourrait atteindre 27,7 m² en maison individuelle.

⁴⁶ Conférence de presse du 5 avril 2005, Source : Chambre des Notaires de Paris, <http://www.paris.notaires.fr>

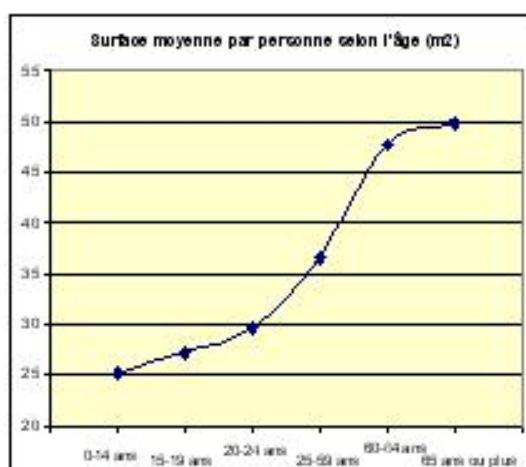
Figure 76 : Surface moyenne d'une pièce en maison individuelle et en immeuble collectif.



D'après : A. Jacquot, « De plus en plus de maisons individuelles », *Insee Première*, N° 885 - février 2003.

La surface habitable par personne peut ainsi être déduite du nombre de pièces par personne, dépendant de l'âge des occupants, la valeur ainsi affectée étant considérée constante, faute de pouvoir se baser sur des données dynamiques de cycle de vie. Cette surface varie du simple au double entre les deux extrémités du cycle de vie (Figure 77).

Figure 77 : Surface moyenne par personne selon l'âge



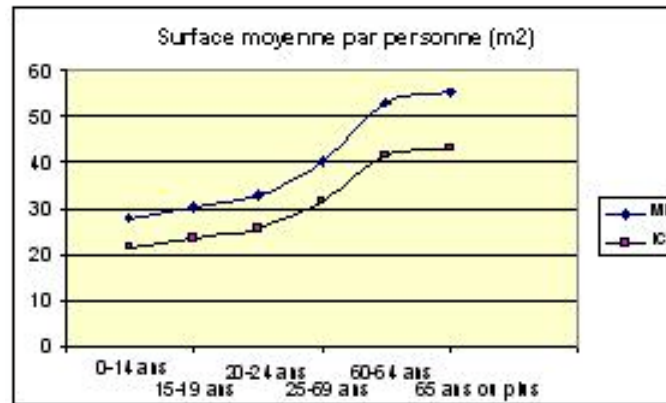
Valeurs obtenues à partir du nombre de pièces selon l'âge établi pour 1999, (Surface d'une pièce : 22 m²)

Au-delà de l'effet d'âge, l'effet de génération, mis en évidence à partir des enquêtes logements de 1984 à 1996⁴⁷, devrait également être pris en compte. Nous faisons l'hypothèse que l'effet de génération traduit essentiellement la part croissante de la maison individuelle,

⁴⁷ Cf. L. Omalek, M. Neiss, D. le Blanc « Confort de l'habitat et cycle de vie », *Insee Première*, n°727, Juillet 2000.

pour laquelle la surface disponible par personne a été considérée comme supérieure de 28% au cas de l'immeuble collectif (Figure 78).

Figure 78 : Estimation de la surface du logement selon l'âge et le type de logement (individuel, collectif).



4.2.2.4 Importance de la localisation (taille de l'aire urbaine)

La surface du logement, par personne, décroît constamment selon la taille des aires urbaines (Figure 79). Une analyse plus fine des données permettrait de hiérarchiser l'influence des différents paramètres. Il s'agit de :

- l'âge moyen de la population ;
- la part de la maison individuelle dans le parc de résidences principales ;
- la surface moyenne d'une pièce, qui devrait décroître de la périphérie vers le centre, en raison du poids de la charge foncière.

Figure 79 : Surface du logement selon la taille de l'aire urbaine (m²/personne).



4.2.3 Résultats agrégés croisant consommations unitaires et données de l'enquête logement

L'agrégation des données (effectifs de résidences principales et consommations énergétiques) indique que les gisements de réduction des consommations liées au chauffage se situent essentiellement dans la maison individuelle (Figure 81 et Figure 80), dont les consommations cumulées par période de construction sont toujours supérieures à celles des immeubles collectifs. Il conviendra d'étudier avec une attention particulière les logements construits au cours de la période 1949-1974 de construction intensive, échappant à toute réglementation thermique, hormis quelques exigences de qualité appliquées au logement social.

Figure 80 : Effectifs de maisons individuelles et de logements collectifs selon les différentes périodes de construction

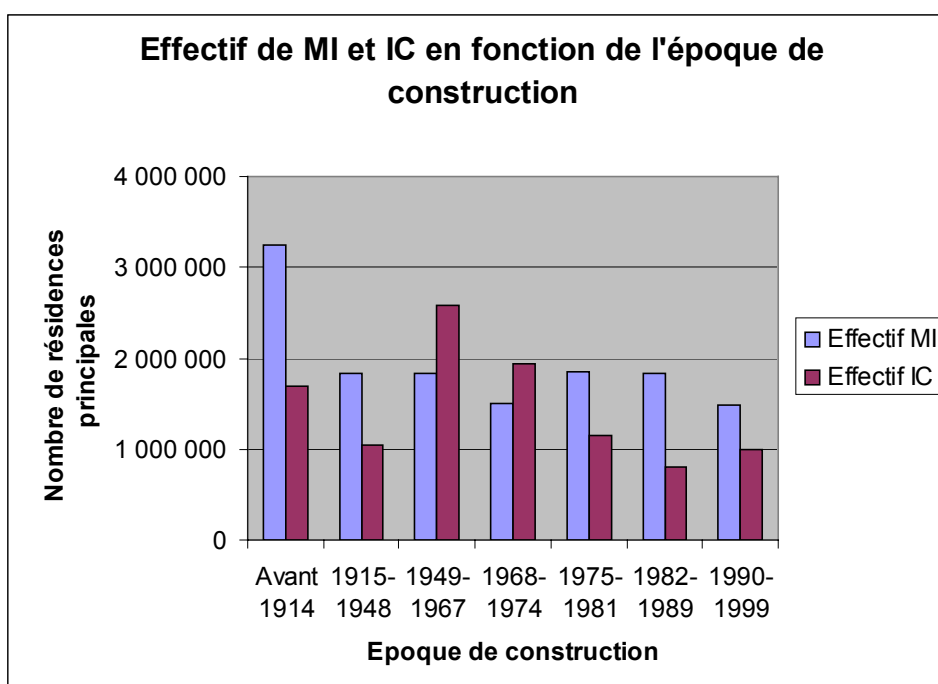
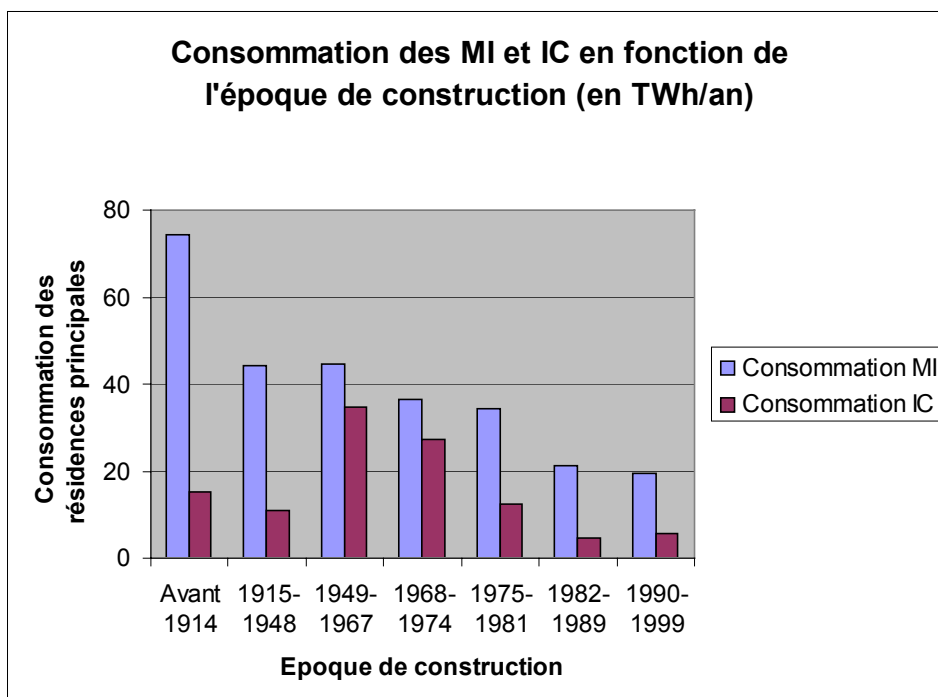
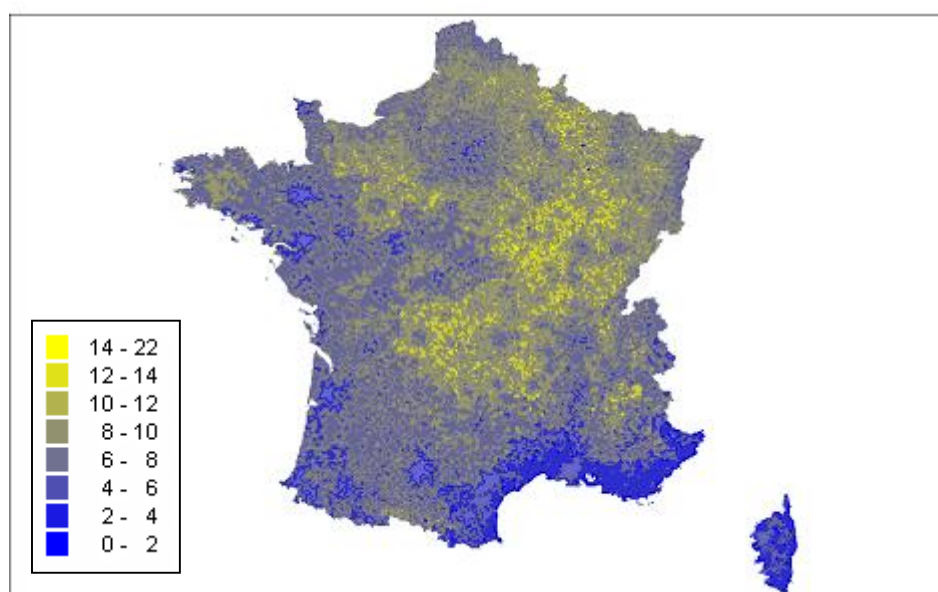


Figure 81 : Consommations de maisons individuelles et de logements collectifs selon les différentes périodes de construction



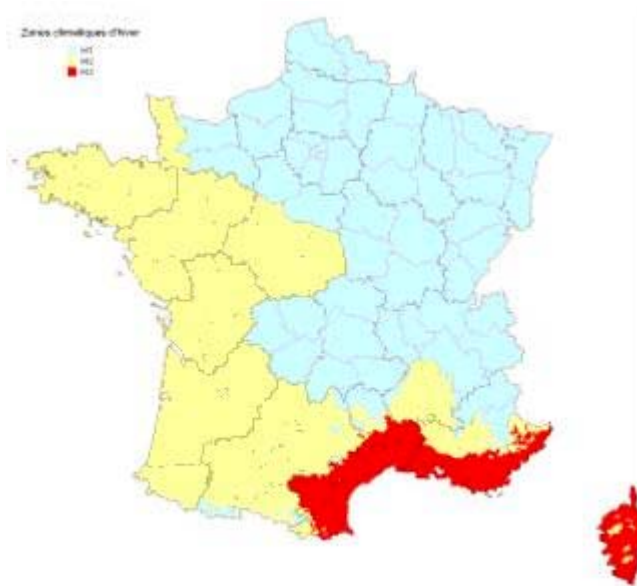
La répartition géographique des consommations par habitant reflète le découpage en trois zones climatiques de chauffage (Figure 82 et Figure 83), avec néanmoins, à l'intérieur de chaque zone, l'indication des pôles de densité urbaine, pour lesquels la proportion de logements collectifs est la plus élevée.

Figure 82 : Consommations d'énergie en 1999 dédiée au chauffage (MWh/ par habitant)



Consommation moyenne : 7,71 MWh/pers/an

Figure 83 : Les trois zones climatiques d'hiver



Conclusion

Les éléments méthodologiques présentés dans ce rapport servent de base au calcul des budgets émissions – énergie, pour le logement et les transports. Les illustrations présentées de chacune de ces méthodologies ont été réalisées à partir des données existantes, ce qui a révélé deux difficultés dans le contexte d'ETHEL :

- celle de l'actualisation des données : les données utilisées, dans le volet transport sont celles de l'enquête transport (ENT 94). Elles ont dix ans. Comment prendre en compte l'évolution démographique, celle des comportements de mobilité, des choix modaux ?
- celle de la projection des comportements transport-habitat : la tâche C [Méthode prospective et scénarios stratégiques] va conduire à élaborer des projections (à partir des données disponibles) à l'horizon 2020.

Les volets transport et habitat ont été le plus souvent dissociés dans ce rapport de sorte à établir des parallèles entre les méthodologies employées, entre les variables pertinentes des points de vue respectifs du transport et de l'habitat.

Parallèlement, l'articulation des dimensions transport et habitat fait actuellement l'objet d'un travail continu conduisant à l'élaboration du modèle BETEL, articulant transport et habitat via les localisations. La tâche B (Analyse des comportements transport, habitat, localisations) doit conduire à élaborer et tester des hypothèses de comportement en matière de lien entre transport, localisations et habitat.

Bibliographie

ADEME (2003), *Logiciel IMPACT ADEME, Version 2.0 Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière*. Coll. Connaître pour Agir - 36 p.

ADEME (2005), *Note de Cadrage sur le contenu CO2 du kWh par usage en France*, ADEME, 14 janvier 2005.

André M., Roumegoux J.P., Delsey J., Guitton, J.P., Vidon R., (1987), *Etude expérimentale sur les utilisations réelles des véhicules (EUREV)*. Bron : Rapport INRETS n°48. 125 p.

Bonduelle, A., Plouchart, G., Barbier, C., Radanne, P., (2004) « Cogénération et émissions de CO2 », *Cahiers du CLIP* n°15, janvier 2004, 62p.

CITEPA (2004a), *Emissions dans l'air en France. Métropole. Substances impliquées dans le phénomène d'accroissement de l'effet de serre*, avril 2004, 24 p.

CITEPA (2004b), *Rapport d'inventaire national. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – séries sectorielles et analyses étendues*. Secten. Février 2004. 228 p.

CITEPA (2005), *Rapport d'inventaire national. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – séries sectorielles et analyses étendues*. Secten. Février 2004. 248 p.

Castro Ortega M.P., (2001), *Evolution des émissions françaises de polluants par les transports non-routiers*. Rapport INRETS n°LTE 0125. 72 p.

Cauret, L, Crozet, Y, Darbera, R, Faudry, D, Govtchenko, N, Mirabel, F, Nicolas, J-P, Simon, B et Zelem, M-C (2001) « Parc automobile et effet de serre », *Cahiers du CLIP* n°12, mars 2001.

Commission of the European Communities, 1993, *CORINAIR working group on emission factors for calculating 1990 emissions from road traffic. Volume 1 : Methodology and emissions factors*. Bruxelles-Luxembourg : ECSC-EEC-EAEC. 115 p.

David, D (2005) *Enjeux de mobilité durable. Analyse de la mobilité des Français au regard des émissions de dioxyde de carbone associées*, Travail de Fin d'Etudes, ENTPE, 83 p.

DGEMP - Observatoire de l'énergie (2002), *Consommation d'énergie dans les transports en France, 2000-2001 : quelques indicateurs*, décembre 2002, 2 p.

DGEMP - Observatoire de l'énergie (2004a), *Bilan énergétique de la France en 2003*, 25 p.

DGEMP - Observatoire de l'énergie (2004b), *L'énergie en France*, collection chiffres clés, repères, édition 2004, 205 p.

DGEMP - Observatoire de l'énergie (2004c), *L'énergie*, collection chiffres clés, repères, édition 2004, 33 p.

DGEMP - Observatoire de l'énergie (2005), *Bilan énergétique de la France en 2003*, 25 p.

DAEI/SES (2000), *Le compte satellite du transport urbain et de la route*, Les études du SES, octobre 2000.

European Communities, DG VII, 1999, MEET, *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*. Luxembourg, Rapport commun INRETS, AUTH, TRL, TÜV, DTU. 362 p.

- Gallez C., (1995), *Budgets énergie environnement des déplacements (BEED) en Ile-de-France*. Rapport de convention ADEME-INRETS, Arcueil, INRETS, 109 p.
- Girault, M., (2000), *Les économies d'énergie de chauffage depuis 25 ans dans le résidentiel*, Notes de synthèse du SES, mai juin 2000.
- Hivert L., (1998), *Le parc automobile des ménages*. Rapport de convention ADEME-INRETS, Arcueil, INRETS.
- Hivert, L (2000), *Le parc automobile des ménages. Etude en fin d'année 1998 à partir de la source Parc Auto SOFRES*, Rapport de convention ADEME-INRETS, Arcueil, INRETS., 159 p.
- Hivert, L. et Morcheoine, A., (1998), « Habiter au vert et polluer les citadins : un essai d'évaluation. » *Transports* n°388, mars avril 1998.
- INSEE (1990), Les Comptes des Transports en 1989, *INSEE résultats* n°72, Economie Générale n°17, juin 1990, 160 p.
- INSEE (1993), *Les transports en 1992, 30e rapport de la Commission des Comptes des Transports de la Nation*. Collection Synthèses Statistiques publiques, 180 p.
- INSEE (1996), Enquête Transports et Communications. Dessin de fichier – Dictionnaire des codes. Division des conditions de vie des ménages, 133 p.
- INSEE (1998), *Les transports en 1997, 35e rapport de la Commission des Comptes des Transports de la Nation*, Collection Synthèses Statistiques publiques, 202 p.
- INSEE (2003), *Les transports en 2002, 40e rapport de la Commission des Comptes des Transports de la Nation*, Collection Synthèses Statistiques publiques, 248 p.
- Jancovici J.M. (2000), modifié 2002, *quelles émissions de gaz à effet de serre seront engendrées par la construction d'un 3^{ème} aéroport parisien ?* www.manicore.com ,7 p.
- Lacour S., Joumard R. (2002), *Parc, usage et émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2020*. Rapport INRETS n° LTE 0208. 89 p.
- Lincot, L et Rieg, C (2003) Les conditions de logement des ménages en 2002. Enquête logement 2002, INSEE Résultats°20, octobre 2003.
- MIES - Ministère de l'Ecologie et du Développement (2004), *Plan Climat 2004*, 88p.
- Nicolas J.P., Pochet P., Poimboeuf H., 2001, *Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération lyonnaise*. Lyon, LET, Coll. Etudes & Recherches n°16, 128 p.
- Nicolas J.P., Pochet P., Poimboeuf H., 2001, *Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération lyonnaise, méthodes et résultats*. Rapport de recherche LET-APDD pour le compte de Renault. 237 p.
- Ntziachristos L., Samaras Z., 2000, COPERT III, *Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, methodology and emission factors*. Rapport LAT/AUTH pour le compte de l'Agence Européenne de l'Environnement. 86 p.
<http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>
- Orfeuil J.P., Soleyret D., 2002, « Quelles interactions entre les marches de la mobilité à courte et à longue distance? », *RTS*, 76, pp.208-221.
- Orfeuil J.P., 1984, « Les budgets énergie-transport : un concept, une pratique, des résultats ». *RTS*, 2, pp. 23-29.

Quin C., Duprez F., Bourgis N. (2001), *Compte National Transport de voyageurs (1998)*, rapport CGPC, Certu, Systra, pour le compte du Ministère de l'équipement, des transports et du logement.

Turki, S., Mbeni, N., Lecouvey, F., Girault M. (2002) « La consommation d'énergie du tertiaire : une croissance partiellement maîtrisée », *Notes de Synthèses du SES*, mai-juin 2002.

Traisnel, J-P (2001) « Habitat et développement durable », *Cahiers du CLIP* n°12, avril 2001, 71 p.

Traisnel, J-P. et Maïzia, M. (2004) « Habitat et développement durable », *Cahiers du CLIP* n°16, septembre 2004, 65p.

Annexes

ANNEXE 1

Les définitions utilisées par l'Observatoire de l'énergie (DGEMP-Observatoire de l'énergie, septembre 2003)

http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/fle_stats.htm

Consommation d'énergie finale : consommation d'énergie finale - nette des pertes de distribution (exemple : pertes en lignes électriques) - de tous les secteurs de l'économie, à l'exception des quantités consommées par les producteurs et transformateurs d'énergie (exemple : consommation propre d'une raffinerie). La consommation finale énergétique exclut les énergies utilisées en tant que matière première (dans la pétrochimie notamment).

Consommation d'énergie primaire : consommation finale + pertes + consommation des producteurs et des transformateurs d'énergie (branche énergie). La consommation d'énergie primaire permet de mesurer le taux d'indépendance énergétique national, alors que la consommation d'énergie finale sert à suivre la pénétration des diverses formes d'énergie dans les secteurs utilisateurs de l'économie.

Consommation corrigée : consommation corrigée des effets de température et éventuellement des effets d'autres facteurs (hydraulicité, activité économique, jours ouvrables). Dans les bilans, les corrections sur la consommation finale portent uniquement sur les effets de température. La consommation observée avant toute correction est en général appelée consommation réelle.

Énergie primaire : énergie brute, c'est-à-dire non transformée après extraction (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, électricité primaire).

Énergie secondaire ou dérivée : toute énergie obtenue par la transformation d'une énergie primaire (en particulier électricité d'origine thermique).

Énergie finale ou disponible : énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer,...).

Énergies renouvelables : par convention, l'expression ENRt (ou ENR) s'applique aux énergies renouvelables autres que l'électricité hydraulique, éolienne, photovoltaïque et géothermique (haute enthalpie). Les ENRt comprennent, d'une part, des énergies non commercialisées, telles que le bois de chauffage ramassé ou " vendu au noir ", d'autre part, le bois de chauffage commercialisé, les déchets urbains et industriels, la géothermie valorisée

sous forme de chaleur, le solaire thermique actif, les résidus de bois et de récoltes, les biogaz, les biocarburants et les pompes à chaleur. Dans les bilans de l'énergie, l'électricité primaire d'origine hydraulique (y compris la " petite hydraulique "), éolienne, solaire photovoltaïque et géothermique (haute enthalpie), bien que " renouvelable ", est classée dans la colonne " Électricité ".

ENR ou ENRt : voir Énergies renouvelables.

Électricité primaire : électricité d'origine nucléaire, hydraulique, éolienne, solaire photovoltaïque et géothermique (haute enthalpie).

ANNEXE 2

La Méthode de correction climatique utilisée par l'Observatoire de l'énergie (DGEMP-Observatoire de l'énergie, septembre 2003)

(<http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/methodclim.htm>)

Le principe de calcul consiste à admettre que la consommation de chauffage est proportionnelle à l'indice de rigueur de l'hiver.

L'indice de rigueur est le rapport entre un indicateur de climat observé et un indicateur de climat de référence (période trentenaire 1961-1990) ; cet indicateur est constitué par des degrés-jours (écart moyen journalier entre la température observée et 18°C jusqu'en 1982, 16°C à partir de 1983). Par convention de Météo-France, le degré-jour est égal à zéro si la température moyenne journalière observée est supérieure à la température de référence (18°C ou 16°C).

La zone géographique de référence est la France métropolitaine. Les relevés de température sont effectués dans 42 stations météorologiques réparties sur toutes les régions.

Seuls sont pris en compte les degrés-jours de la " saison de chauffe " qui va de janvier à mai inclus et d'octobre inclus à décembre. Toutefois, octobre et mai font l'objet d'un traitement particulier à partir de 1982, car on cherche à éviter d'accorder un poids excessif à ces deux mois de " demi-saison ". En effet, un incident climatique mineur en termes de degrés-jours, pourrait avoir des conséquences non négligeables et hors de proportion sur l'indice de rigueur.

En pratique, la méthode est la suivante (CC désignant la consommation corrigée, CR la consommation réelle et COR la correction climatique) :

on écrit, pour chaque période considérée, chaque type d'énergie et chaque secteur :

$$\text{COR} = \text{CC} - \text{CR} = f(e \text{ CR}) - e \text{ CR}$$

où e est la part de consommation sensible au climat et f la fonction de correction climatique (qui ne s'applique qu'à la part sensible au climat) ;

les mois de juin à septembre ne sont pas corrigés :

$$\text{COR} = 0 ;$$

pour les mois de novembre à avril :

$$\text{COR} = e (1/r - 1) \text{ CR}$$

avec : e = part de la consommation sensible au climat.

r = indice de rigueur du mois, c'est à dire le ratio du nombre de degrés-jours observés sur le nombre de degrés-jours moyen (période 1961-1990),

soit $r = \text{DJU} / \text{DJUm}$;

pour les mois de mai et octobre (" demi-saison ") :

$$\text{COR} = e (1/r^* - 1) \text{CR}$$

$$\text{avec : } r^* = 1/[1 + (\text{DJUm} - \text{DJU})/\text{DJUf}]$$

où DJU est le nombre de degrés-jours observés le mois considéré, DJUm le nombre de degrés-jours moyen (moyenne trentenaire 1951-1980 jusqu'en 1993, 1961-1990 depuis 1994) et DJUf le nombre de degrés-jours du mois le plus froid depuis le début de l'année calendaire en cours.

soit, aussi :

$$\text{COR/CR} = \text{CORf/CRf} (\text{DJU} - \text{DJUm})/(\text{DJUf} - \text{DJUm})$$

où CORf et CRf sont, respectivement, la correction apportée au mois le plus froid depuis le début de l'année calendaire en cours et la consommation réelle de ce même mois.

Sur une base annuelle, la part de la consommation sensible au climat, soit e, est indiquée, pour chaque année.(...).

On remarque que les taux retenus n'ont pas ou peu évolué ces dernières années pour le charbon et les produits pétroliers. Par contre, sur le gaz, il a été augmenté pour tenir compte de la pénétration croissante du gaz dans le chauffage des logements. Pour l'électricité, l'évolution est liée au rapide développement du chauffage électrique ; le taux de 27% depuis 1986 correspond à la part du chauffage dans la consommation d'électricité du secteur résidentiel et tertiaire (cette part était d'environ 10% en 1973).

ANNEXE 3 : Les facteurs d'émissions des automobiles

Emissions Unitaires de CO, VP essence. MEET, 1999 : Table A14, p.65

<i>Classe du véhicule</i>	<i>Cylindrée</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Facteur d'émission</i>
<i>PRE ECE</i>	Toutes catégories	10-100	$281*v^{-0.630}$
	Toutes catégories	100-130	$112*v+4.32$
<i>ECE00/01</i>	Toutes catégories	10-50	$313*v^{-0.760}$
		50-130	$27.22-0.406*v+0.0032*v^2$
<i>ECE02</i>	Toutes catégories	10-60	$300*v^{-0.797}$
		60-130	$26.26-0.44*v+0.0026*v^2$
<i>ECE03</i>	Toutes catégories	10-20	$161.36-45.62*\ln(v)$
		20-130	$37.92-0.68*v+0.00377*v^2$
<i>ECE04</i>	Toutes catégories	10-60	$260.788*v^{-0.910}$
		60-130	$14.653-0.220*v+0.001163*v^2$
<i>EURO1</i>	<1400 cm3	10-130	$9.846-0.2867*v+0.0022*v^2$
	1400-2000 cm3	10-130	$9.617-0.245*v+0.001729*v^2$
	> 2000 cm3	10-130	$12.826-0.2955*v+0.00177*v^2$

Emissions Unitaires de COV, VP essence. MEET, 1999 : Table A15, p.65

<i>Classe du véhicule</i>	<i>Cylindrée</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Facteur d'émission</i>
<i>PRE ECE</i>	Toutes catégories	10-100	$30.34*v^{-0.693}$
	Toutes catégories	100-130	1.247
<i>ECE00/01</i>	Toutes catégories	10-50	$24.99*v^{-0.704}$
		50-130	$4.85*v^{-0.318}$
<i>ECE02/03</i>	Toutes catégories	10-60	$25.75*v^{-0.714}$
		60-130	$1.95-0.019*v+0.00009*v^2$
<i>ECE04</i>	Toutes catégories	10-60	$19.079*v^{-0.693}$
		60-130	$2.608-0.037*v+0.000179*v^2$
<i>EURO1</i>	<1400 cm3	10-130	$0.628-0.01377*v+0.0000852*v^2$
	1400-2000 cm3	10-130	$0.4494-0.00888*v+0.0000521*v^2$
	> 2000 cm3	10-130	$0.5086-0.00723*v+0.000033*v^2$

Emissions Unitaires de NOx, VP essence. MEET, 1999 : Table A16, p.66

<i>Classe du véhicule</i>	<i>Cylindrée</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Facteur d'émission</i>
<i>PRE ECE ECE00/01</i>	<1400 cm3	10-130	$1.173+0.0225*v-0.00014*v^2$
	1400-2000 cm3	10-130	$1.360+0.0217*v-0.00004*v^2$
	> 2000 cm3	10-130	$1.5+0.03*v+0.0001*v^2$
<i>ECE02</i>	<1400 cm3	10-130	$1.479-0.0037*v+0.00018*v^2$
	1400-2000 cm3	10-130	$1.663-0.0038*v+0.00020*v^2$
	> 2000 cm3	10-130	$1.87-0.0039*v+0.00022*v^2$
<i>ECE03</i>	<1400 cm3	10-130	$1.616-0.0084*v+0.00025*v^2$
	1400-2000 cm3	10-130	$1.29*e^{(0.0099*v)}$
	> 2000 cm3	10-130	$2.784-0.0112*v+0.000294*v^2$
<i>ECE04</i>	<1400 cm3	10-130	$1.432+0.003*v+0.000097*v^2$
	1400-2000 cm3	10-130	$1.484+0.013*v+0.000074*v^2$
	> 2000 cm3	10-130	$2.427-0.014*v+0.000266*v^2$
<i>EURO1</i>	<1400 cm3	10-130	$0.5595-0.01047*v+0.000108*v^2$
	1400-2000 cm3	10-130	$0.526-0.0085*v+0.0000854*v^2$
	> 2000 cm3	10-130	$0.666-0.009*v+0.0000755*v^2$

Emissions Unitaires de CO2, VP essence. MEET, 1999 : Table A17, p. 66

<i>Classe du véhicule</i>	<i>Cylindrée</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Facteur d'émission</i>
<i>PRE ECE ECE00/01</i>	<1400 cm3	10-130	$768+3.13*v-199*\ln(v)$
	1400-2000 cm3	10-130	$1005+4.15*v-263*\ln(v)$
	> 2000 cm3	10-130	$1498+8.21*v-0.0133*v^2-421*\ln(v)$
<i>ECE00/01</i>	<1400 cm3	10-130	$173-2.52*v+0.0182*v^2+1930/v$
	1400-2000 cm3	10-130	$1065+4.00*v-284*\ln(v)$
	> 2000 cm3	10-130	$835+3.71*v+2297/v-229*\ln(v)$
<i>ECE02</i>	<1400 cm3	10-130	$345+0.0106*v^2+1275/v-68.6*\ln(v)$
	1400-2000 cm3	10-130	$835+3.93*v+986/v-231*\ln(v)$
	> 2000 cm3	10-130	$879+4.32*v+2298/v-244*\ln(v)$
<i>ECE03</i>	<1400 cm3	10-130	$664+2.09*v+0.00449*v^2-167*\ln(v)$
	1400-2000 cm3	10-130	$1074+5.49*v+0.00461*v^2-305*\ln(v)$
	> 2000 cm3	10-130	$957+4.51*v+1832/v-264*\ln(v)$
<i>ECE04</i>	<1400 cm3	10-130	$614+2.56*v-157*\ln(v)$
	1400-2000 cm3	10-130	$264+0.0103*v^2+2049/v-49.8*\ln(v)$
	> 2000 cm3	10-130	$1173+4.83*v-315*\ln(v)$
<i>EURO1</i>	<1400 cm3	10-130	$157-2.07*v+0.0172*v^2+1835/v$
	1400-2000 cm3	10-130	$231-3.62*v+0.0263*v^2+2526/v$
	> 2000 cm3	10-130	$294-5.50*v+0.0393*v^2+3513/v$

Emissions Unitaires, VP diesel non réglementées. MEET, 1999 : Table A18, p.67

<i>Polluant</i>	<i>Cylindrée</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Facteur d'émission</i>
<i>CO</i>	Toutes catégories	10-130	$5.413*v^{-0.574}$
<i>NOx</i>	<2000 cm3	10-130	$0.918-0.014*v+0.000101*v^2$
	>2000 cm3	10-130	$1.331-0.018*v+0.000133*v^2$
<i>Hydrocarbures</i>	Toutes catégories	10-130	$4.61*v^{-0.937}$
<i>Particules</i>	Toutes catégories	10-130	$0.45-0.0086*v+0.000058*v^2$
<i>CO2</i>	Toutes catégories	10-130	$374-6.58*v+0.0442*v^2-30.3/v$

Emissions Unitaires, VP diesel non réglementées. MEET, 1999 : Table A19, p.67

<i>Polluant</i>	<i>Cylindrée</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Facteur d'émission</i>
<i>CO</i>	Toutes catégories	10-130	$1.4497-0.03385*v+0.00021*v^2$
<i>NOx</i>	Toutes catégories	10-130	$1.4335-0.026*v+0.0001785*v^2$
<i>Hydrocarbures</i>	Toutes catégories	10-130	$0.1978-0.003925*v+0.0000224*v^2$
<i>Particules</i>	Toutes catégories	10-130	$0.1804-0.004415*v+0.0000333*v^2$
<i>CO2</i>	Toutes catégories	10-130	$286-4.07*v+0.0271*v^2$

Table des matières

Introduction	1
1 Energies et émissions : les ordres de grandeur.....	4
1.1 Consommations énergétiques et émissions globales de CO₂	4
1.1.1 Vue globale des consommations énergétiques.....	4
1.1.1.1 Consommations d'énergie : définitions liminaires.....	4
1.1.1.2 Parts et évolutions sectorielles.....	8
1.1.2 Consommations pétrolières : ventilation sectorielle	8
1.1.3 Emissions de CO ₂ par secteur	10
1.2 Consommations énergétiques et émissions de CO₂ liées aux bâtiments.....	13
1.2.1 Grandes masses	13
1.2.1.1 La part du tertiaire	13
1.2.1.2 L'habitat	15
a) Le parc de logements et ses caractéristiques.....	15
b) Les consommations énergétiques du résidentiel.....	20
c) Les émissions de CO ₂ du résidentiel.....	27
1.2.2 Consommations et émissions de l'habitat : deux entrées, deux perspectives	29
1.2.2.1 Entrée par la localisation	30
1.2.2.2 Entrée par le parc (type, zone climatique, moyen de chauffage).....	32
1.3 Consommations énergétiques et émissions de CO₂ liées au transport	34
1.3.1 Energie, carburant fossile et émissions de CO ₂ du transport	35
1.3.1.1 Consommations énergétiques globales du transport.....	35
1.3.1.2 Consommations de produits pétroliers	38
1.3.1.3 Emissions de CO ₂	40
1.3.2 Consommations et émissions du transport routier : deux perspectives.....	42
1.3.2.1 Entrée par le parc automobile et son utilisation.....	42
a) « Bilan parc-circulation-énergie » : la vision globale des comptes transports	42
b) Effets de la structure du parc et de ses usages sur les consommations	44
1.3.2.2 Entrée par les localisations	45
a) Répartition du parc et des trafics à partir du compte satellite du transport urbain et de la route ...	45
b) Localisations et usages du parc des véhicules	47
2 Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas de l'habitat	54
2.1 Situer les enjeux de calcul : les consommations énergétiques.....	54
2.1.1 Choix d'une unité de consommation.....	54
2.1.2 Le parc de résidences principales.....	57
2.1.3 Les consommations énergétiques du chauffage.....	59
2.1.3.1 Le gaz et le fioul.....	60
2.1.3.2 Le chauffage électrique	60
2.1.3.3 Les appareils indépendants de chauffage	61
2.1.3.4 Le bois énergie	62
2.1.4 L'eau chaude sanitaire.....	62
2.1.5 L'électricité spécifique	63
2.1.6 La climatisation individuelle, une exigence croissante de confort.....	64
2.1.7 Les émissions unitaires retenues pour chaque poste de consommation.....	66
2.1.7.1 Les différents usages de l'électricité.....	66
2.1.7.2 Le chauffage et l'eau chaude sanitaire.....	67

2.2 Le cas particulier du chauffage.....	69
2.2.1 Le calcul des consommations de chauffage	69
2.2.2 Principaux facteurs explicatifs des consommations du chauffage	73
2.2.2.1 Les besoins en énergie de chauffage : bases de calcul	73
2.2.2.2 Effet de la performance du bâti	74
2.2.2.3 Effet de la typologie et du niveau d'isolation de l'enveloppe	75
2.2.2.4 L'effet climatique	76
2.2.2.5 Les rendements globaux des équipements et les consommations.....	76
2.3 Méthodologie de modélisation du parc de logements	76
2.3.1 Reconstituer le parc de logements.....	76
2.3.2 La surface du logement : une donnée fondamentale	78
2.4 Vers la conception d'un modèle dynamique du parc.....	79
3 Méthodologie de calcul du BETEL. Le cas du transport	81
3.1 Situer les enjeux de calcul.....	82
3.1.1 Enquête mobilité quotidienne.....	83
3.1.1.1 La multimodalité : un cas marginal au cours de la mobilité quotidienne ?	83
3.1.1.2 Remarques.....	84
3.1.1.3 L'enjeu principal : une prise en considération fine de la voiture.....	84
3.1.2 L'enquête longue distance.....	85
3.1.2.1 Moins de précisions dans l'enquête et un traitement simplifié de la multimodalité	86
3.1.2.2 Remarques.....	86
3.1.2.3 La voiture est moins dominante que dans le cas précédent	86
3.1.3 Conclusion : d'abord la voiture, mais aussi l'avion puis le train et le car	87
3.2 Les émissions unitaires retenues pour chaque mode	88
3.2.1 L'avion	88
3.2.2 Le train	90
3.2.3 Les modes routiers lourds (autocar, bus et poids-lourd)	91
3.2.3.1 Les autocars.....	92
3.2.3.2 Les autobus.....	92
3.2.3.3 Les poids-lourds	93
3.2.4 Mobylette et Motocyclettes.....	94
3.2.5 Les autres modes	94
3.3 Le cas particulier de l'automobile	94
3.3.1 Les informations disponibles et les informations à reconstituer	95
3.3.2 Les surémissions à froid : surtout pour les petits déplacements	96
3.3.2.1 Le calcul des surémissions dans MEET	96
3.3.2.2 Estimation de la température du moteur au démarrage	96
3.3.2.3 Conclusion.....	97
3.3.3 Une reconstitution des vitesses en fonction du réseau	98
3.3.3.1 Le principe retenu.....	98
3.3.3.2 La détermination des vitesses retenues.....	98
a) Un problème de définition des types de voirie.....	98
b) Détermination des vitesses pour la mobilité quotidienne	99
c) Détermination des vitesses et des distances par réseau pour la mobilité longue distance.....	100
3.3.3.3 Quelle est la sensibilité des résultats aux hypothèses de vitesse ?.....	101
3.3.4 L'affectation des émissions moyennes aux véhicules mal renseignés	102
3.4 Conclusion.....	102
4 Illustrations BETEL.....	104

4.1 Illustration BETEL : volet transport	104
4.1.1 Analyse globale (mobilité globale et locale).....	105
4.1.2 Analyse de la mobilité locale	108
4.1.3 Mobilité longue distance	111
4.2 Illustration BETEL : volet habitat	115
4.2.1 Analyse des consommations unitaires de chauffage	115
4.2.2 Analyse des déterminants principaux de la surface des logements.....	117
4.2.2.1 Importance de la typologie	117
4.2.2.2 Importance du cycle de vie de la population	119
4.2.2.3 Surface d'une pièce	119
4.2.2.4 Importance de la localisation (taille de l'aire urbaine)	121
4.2.3 Résultats agrégés croisant consommations unitaires et données de l'enquête logement	122
Conclusion	125
Bibliographie.....	126
Annexes.....	129